

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ  
KATEDRA TEXTILNÍCH TECHNOLOGIÍ



# DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Liberec 2012**

**Jiřina Říhová**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ  
KATEDRA TEXTILNÍCH TECHNOLOGIÍ



**MODEL GEOMETRIE VNITŘNÍ  
STRUKTURY TKANINOVÝCH KOMPOZITŮ  
SKLO/ POLYSILOXAN S KEPROVOU  
VÝZTUŽÍ**

(Geometric model of internal structure of fabric  
composites glass/polysiloxan with twilled  
reinforcer)

**Liberec 2012**

**Jiřina Říhová**

### **Prohlášení**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé Diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Anotace**

Předkládaná práce se zabývá určením modelu pro popis geometrie vnitřní struktury tkaninového kompozitu s keprovou vazbou. Hlavním cílem je najít vhodný matematický aparát pro popis geometrie výztuže, která je materiálového složení sklo/polysiloxan. Pro určení geometrických charakteristik vnitřní struktury tkaninového kompozitu byly vytvořeny rastrové obrazy. K snímání bylo použito techniky složeného obrazu mikroskopem Nikon ELIPSE LV100 a posuvným stolek. Na snímaných vzorcích se pomocí obrazové analýzy NIS ELEMENTS 2.30 měřily šířky a výšky příčného průřezu vláken a střední průběh a tloušťka vlákenných svazků v niti v jednotlivých vrstvách tkaninového kompozitu. V souvislosti s naměřenými charakteristikami byl sledován vliv tlaku na krajní a vnitřní vrstvy tkaninového kompozitu jak po osnově, tak po útku. Bylo provedeno zhodnocení a diskuse výsledků.

### **Klíčová slova:**

Geometrie vnitřní struktury, Tkaninový kompozit, Keprová výztuž, Skleněná vlákna, Polysiloxonová matrice

## **Annotation**

This dissertation is deal by model definition for description of twill weave textile composit geometry ihned structure. The goal is find out proper mathematic apparatus for geometric mounting description, which is material structure glass/polysiloxan. For geometric characteristic determination of fabric composite inner structure there were created raster images. For scanning there were used folded image technique by microscope Nikon ELIPSE LV100 and adjustable table. On scanned sample there were measured width and height of fibre cross section, mean run and width of fibre joining in thread in textile composit particular level. In connection with the measured characteristics, there were watched pressure effect on outer and inner textile composit level on warp as well as on weft. There were made data evaluation and findings discusion.

### **Keywords:**

Geometric internal structure, Fabric composite, twilled reinforcer, Glass fibers, Polysiloxan matrices

**Zadání:**

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytovali cenné rady a informace při vypracovávání diplomové práce. Velice bych chtěla poděkovat své vedoucí diplomové práce Ing. Janě Salačové za její vedení, odbornou pomoc, výstižné připomínky a hlavně za ochotu a trpělivost při naší vzájemné spolupráci. Velké poděkování patří i celé mé rodině a hlavně manželovi; všichni mě všestranně podporovali a povzbuzovali při psaní diplomové práce a i v celém průběhu studia.

## Obsah

OBSAH .....	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	8
1 ÚVOD .....	9
1.1 Cíle práce .....	9
2 TEORETICKÁ ČÁST .....	10
2.1 Tkaninový kompozit .....	10
2.2 Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu .....	11
2.3 Základní modely struktury tkaninových kompozitů .....	12
2.3.1 Idealizovaný tvar provazující nitě v tkanině .....	13
2.4 Výztuž tkaninového kompozitu .....	16
2.4.1 Skleněná vlákna .....	16
2.5 Matrice textilního kompozitu .....	18
2.5.1 Polysiloxan .....	18
2.6 Výroba tkaninového kompozitu .....	19
2.6.1 Způsob výroby prepregu .....	20
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	22
3.1 Použité přístroje .....	22
3.2 Příprava vzorků .....	22
3.3 Zalévání vzorků do pryskyřice .....	23
3.4 Nábrus vzorků .....	24
3.5 Snímání vzorků .....	25
3.6 Geometrické charakteristiky vnitřní struktury .....	26
3.7 Vyhodnocení výsledků geometrických charakteristik .....	46
3.8 Matematický model geometrie výztuže .....	50
3.9 Diskuze .....	69
4 ZÁVĚR .....	71
LITERATURA .....	72
SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ, TABULEK, ROVNIC .....	75
PŘÍLOHA .....	77

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$a$ [m]	šířka deformovaného průřezu nitě
$a_h$ [m]	velikost hlavní poloosy hyperboly
Al	hliník
$A_o$ [m]	rozteč osnovních nití
apod.	a podobně
$A_u$ [m]	rozteč útkových nití
$b$ [m]	výška deformovaného průřezu nitě
$b_h$ [m]	velikost vedlejší poloosy hyperboly
Br	brom
Ca	vápník
$Co$ [m]	šířka vazné vlny osnovní nitě ve střídě vazby
$Cu$ [m]	šířka vazné vlny útkové nitě ve střídě vazby
$do$ [mm]	průměr osnovní nitě
$du$ [mm]	průměr útkové nitě
$dstr$ [mm]	střední průměr nitě
$ds$ [mm]	substanční průměr nitě
Fe	železo
$hp$ [m]	výška průchodového úseku
$ho$ [m]	výška vazné vlny osnovy
$hu$ [m]	výška vazné vlny útku
Mg	hořčík
MPa	jednotka tlaku
např.	například
$p$ [m]	velikost dílčího intervalu – přechodová část
$SiO_2$	oxid křemičitý
tzv.	tak zvané
$\varphi$ [°]	úhel provázání osnovy



# 1 Úvod

Od 20. století se materiálové inženýrství zaměřuje na nové technologie ve výrobě, kde by využívání konstrukčních materiálů bylo možné pro všechna odvětví průmyslu. V 90. letech se textilní vývojáři zaměřili na skupinu konstrukčních materiálů s označením textilní kompozity. Vývoj textilních kompozitů „dostal zelenou“ především v kosmických projektech a v leteckých konstrukcích. Projevovala se zde snaha nahradit konveční materiál textilním kompozitem, který dosahoval mnohonásobně lepších vlastností než doposud používaný konveční materiál (vysoká náročnost na měrné hodnoty materiálových vlastností).

Postupem času byl textilní kompozit rozšířen do výroby běžných produktů v různých odvětví průmyslu jako jsou lodě, automobily, nábytek, sportovní náčiní, apod.. V současné době je již textilní kompozit neodmyslitelnou součástí pro výrobu mnoha výrobků, které nás obklopují téměř na každém rohu [ 3,4 ].

Výhodou textilního kompozitu je, že může svými vlastnostmi nahradit přírodní materiály, které mají vyčerpatelné zdroje. Aby textilní kompozit měl lepší vlastnosti než přírodní materiál, musí splnit předpoklad, že bude zvolena vhodná textilní složka (výztuž) a pojivo (matrice) textilního kompozitu. Jako výztužnou složku textilního kompozitu lze použít kombinace různých vláken, přízí, ale také textilií ve vazbě plátno, kepr, atlas. Vlastnosti textilního kompozitu jsou ovlivňovány také výrobním postupem a synergickým efektem, který se vyznačuje tím, že výsledné vlastnosti kompozitu jsou lepší než sečtení vlastností jednotlivých složek [ 3].

Nejvyužívanější výztuží v textilním kompozitu je tkanina, proto také je používán název tkaninový kompozit. Pro jejich velké využívání v různých odvětvích průmyslu hovoří především snadná příprava, nízké náklady na výrobu. Výztuž dokáže držet požadovaný tvar (oproti výztužím s volnými vlákny nebo přízemi). Výhodou může být také zvýšená odolnost vůči mechanickému poškození.

## 1.1 Cíle práce

Předkládaná práce se zabývá určením modelu pro popis geometrie vnitřní struktury tkaninového kompozitu lišící se tlakem při výrobě, a to 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa. Hlavním cílem práce je určit vhodný matematický aparát pro popis geometrie výztuže keprové vazby tkaninových kompozitů materiálového složení sklo/polysiloxan. Pro určení geometrických charakteristik vnitřní struktury tkaninového

kompozitu byly vytvořeny rastrové obrazy. Obrazy byly snímány do složeného vzorku mikroskopem Nikon ELIPSE LV100 pomocí posuvného stolku. Na snímáných vzorcích se pomocí obrazové analýzy NIS ELEMENTS 2.30 měřily délky a šířky čoček v jednotlivých vrstvách tkaninového kompozitu, střední průběh a šířka multifilů v niti. V souvislosti s naměřenými charakteristikami byl sledován vliv tlaku na krajní a vnitřní vrstvy tkaninového kompozitu jak po osnově, tak po útku. Na základě naměřených dat je provedeno zhodnocení a diskuse výsledků.

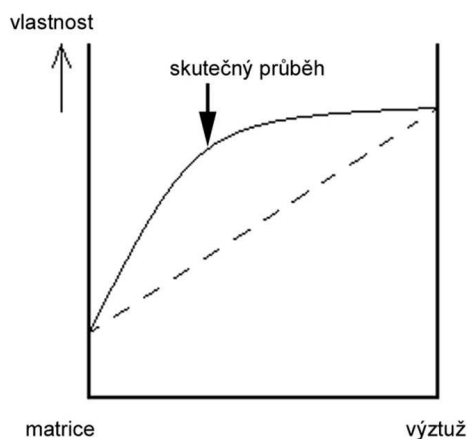
## 2 Teoretická část

Teoretická část práce je zaměřena na problematiku tkaninového kompozitu. Vysvětluje pojem matrice a textilní výztuž a popisuje konkrétní postup výroby skleněných vláken a výrobu tkaninového kompozitu prepregovou technologií. V teoretické části jsou ještě popsány modely struktury textilních kompozitů a idealizovaný tvar nitě v tkanině s plátňovou vazbou.

### 2.1 Tkaninový kompozit

Tkaninový kompozit je každý materiálový systém. Za materiálový systém považujeme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více složek, které mají makroskopicky rozeznatelné rozhraní [1,6,7,23]. Složka, která je většinou tvrdší, tužší, pevnější se nazývá výztuž: tato složka má významně vyšší mechanické vlastnosti jako např. pevnost v tahu a modul pružnosti než druhá složka, která je spojitá a většinou bývá i poddajnější a zastává funkci pojiva výztuže a je pojmenována matrice. Tyto heterogenní materiály se výrazně liší svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Kompozit musí také splňovat podmínku, že podíl výztuže bude činit část větší než 5%. Pokud je textilní výztuží tkanina, jedná se o tkaninový kompozit. Tkanina představuje systém kolmo kladených svazků a vazba vzniká vzájemným proložením těchto kolmo kladených svazků různým způsobem. Vazba tkaniny má vliv na charakteristické prvky struktury [1,5,6,7,8].

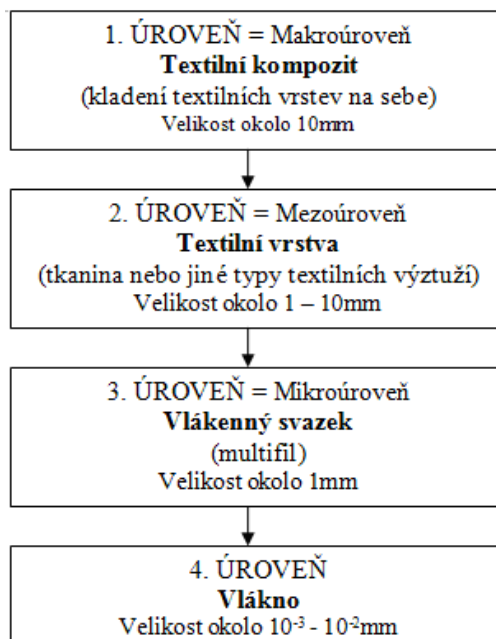
Tkaninový kompozit se vyznačuje synergickým efektem. Synergický efekt znamená, že vlastnosti tkaninového kompozitu jsou lepší než vlastnosti vzniklé pouhým sečtením vlastností jednotlivých složek. Tato zvláštní vlastnost dává materiálovým vývojářům možnost získat materiály nových kvalitních vlastností.



Obr. 1: Synergické chování složek kompozitu [ 5 ]

## 2.2 Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu

Vlastnosti tkaninového kompozitu, jsou ovlivňovány každou složkou, která vytváří konečný tkaninový kompozit. Tyto složky jsou nositelkami vlastních parametrů, které v konečném výsledku ovlivňují celkové vlastnosti tkaninového kompozitu. Proto je důležité znát hierarchicky po sobě jdoucí základní strukturní úrovně tkaninového kompozitu [10].



Obr. 2: Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu [ 8 ]

## 2.3 Základní modely struktury tkaninových kompozitů

Pro popis tkaninového kompozitu existují tři základní modely struktury :

- 1) mozaikový model
- 2) model zvlněných vláken
- 3) efekt přemostění

Pro všechny modely výše uvedené se jako základ veškerých teoretických úvah bere vrstvený výrobek = laminát. Lamináty jsou kompozity, které obsahují kontinuálně položená vlákna a polymerní matrici. Lamináty jsou vyráběny postupným ukládáním elementárních vrstev [8,29,30].

Mozaikový model je nejjednodušším popisem struktury tkaninového kompozitu, pracuje pouze s počtem a s rozmístěním vazných bodů ze skutečného provázání tkaniny. Tento model považuje vazný bod jako místo, kde se nitě vrstveného laminátu kříží. Model tedy zanedbává zvlnění nitě ve vazném bodě [29,30].

Model zvlněných vláken je velice podobný mozaikovému modelu. Rozdíl mezi modely je v tom, že model zvlněných vláken pracuje ještě navíc se zvlněním osnovy a útku ve vazném bodě. V tomto modelu se předpokládá, že zvlnění má pravidelný sinusový průběh. Model zvlněných vláken se hodí nejvíce pro popis kompozitu s plátňovou výztuží [29,30].

Poslední model popisující strukturu tkaninového kompozitu je efekt přemostění. Tento efekt je kombinací obou předchozích modelů. Efekt přemostění je využíván pouze pro popis chování kompozitu s výztuží atlasové vazby [29,30].

Struktura tkaninového kompozitu je v současné době popsána v anglickém článku „Consistent mesoscopic mechanical behaviour model for woven composite reinforcements in biaxial tension“, který popisuje tkaninový kompozit pomocí měření geometrických charakteristik (střední průměr trajektorie nitě, šířka nitě, ohyb, délka a šířka deformovaného průřezu nitě) reálné struktury kompozitu a následně určuje geometrický model [31,32]. Geometrické charakteristiky tkaninového kompozitu popisuje jako střední průměr trajektorie procházející středem nitě, šířku a výšku příčného deformovaného průřezu měří v největší výšce a šířce. Stejným způsobem se určovali i geometrické charakteristiky vnitřní struktury tkaninového kompozitu s keprovou výztuží sklo/polysiloxan, které jsou zkoumány v experimentální části.

### 2.3.1 Idealizovaný tvar provazující nitě v tkanině

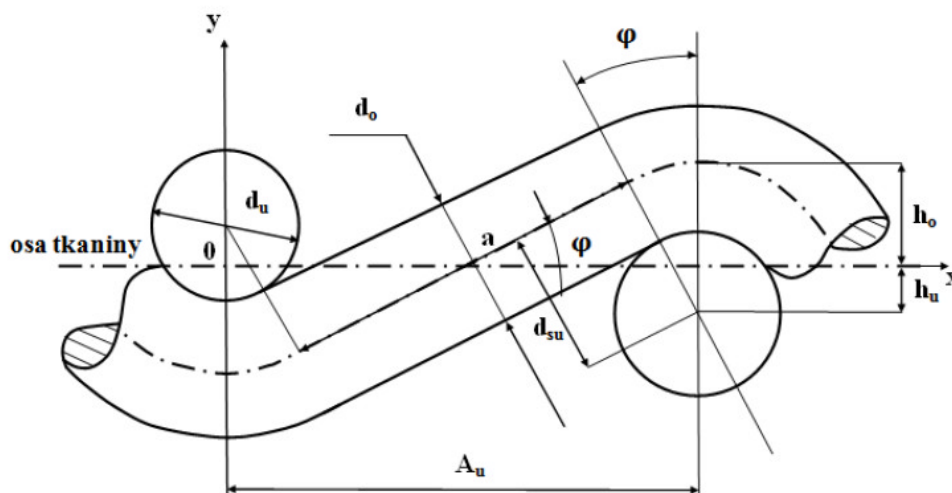
Pro idealizovaný tvar bylo již vytvořeno mnoho zjednodušujících předpokladů, kterými by bylo možné zjistit provázání osnovních a útkových nití ve volné tkanině, v případě plátnové vazby či v jiné než plátnové vazbě. Vycházíme z následujícího předpokladu, model musí odpovídat skutečnosti, současně být také dostatečně obecný a umožňovat matematické modelování mechanických vlastností tkanin. K tomu do jisté míry vede zpracování geometrie tvaru a uspořádání nití ve tkanině ryze geometrickým modelem. Za nejznámější a nejpoužívanější modely provázání nití lze považovat [ 33, 34]:

- Piercův model
- Olofsonův model
- hyperbolický model
- provázání pomocí Fourierových řad

#### Piercův model

Je to nejznámější a nejvíce používaný model pro vyjádření provázání nití ve tkanině. Tvar vazné vlny se definuje pomocí dvou částí: z přímého a kruhového úseku. Model vychází z následujících předpokladů:

- průměr nitě v řezu je kruhový, neuvažujeme v daném modelu o deformaci soustav nití ve tkanině
- vazná vlna osnovy a útku, je nahrazována obloukem kružnice a přímkou
- vazná vlna je v jednoduchém provázání – v plátně



Obr. 3: Piercův model provázání nití v tkanině [ 34 ]

Piercův model je popsán pro plátňovou vazbu těmito parametry:

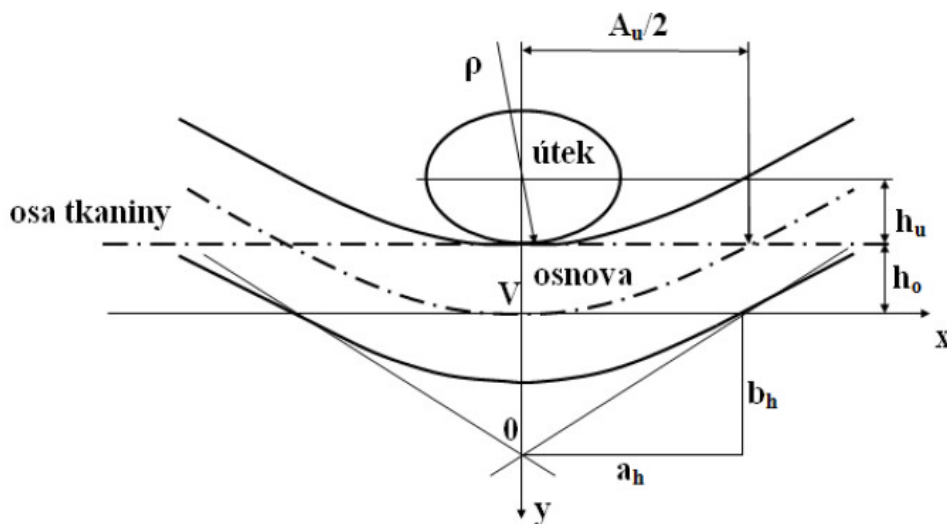
- průměr osnovní a útkové nitě v řezu  $do, du$  [m]
- střední průměr nitě  $dstr = do + du/2$
- rozteč osnovních a útkových nití  $Ao[m] = 1/Do, Au[m] = 1/Du$
- výška zvlnění osnovní a útkové nitě  $ho, hu$  [m]
- součet výšek vazných vln  $h = ho + hu$
- úhel zvlnění osnovní a útkové nitě  $\varphi$  [°]

### Olofsonův model

Olofsonův model provázání niti ve tkanině má oproti Piercovému modelu reálnější pohled na strukturu tkaniny. Princip tohoto modelu se zakládá na tom, že tvar zvlnění nití je funkcí vnějších a vnitřních sil, které působí na zatkané nitě a uvnitř nití.

### Hyperbolický model

Model je určen pouze pro vyjádření jednoho zakřížení osnovy a útku ve tkanině s plátňovou vazbou pomocí rovnoosé hyperboly viz (obr. 4), kde  $a_h$  a  $b_h$  je velikost hlavní a vedlejší poloosy hyperboly. Hyperbolický model je zjednodušení Peirceova modelu.

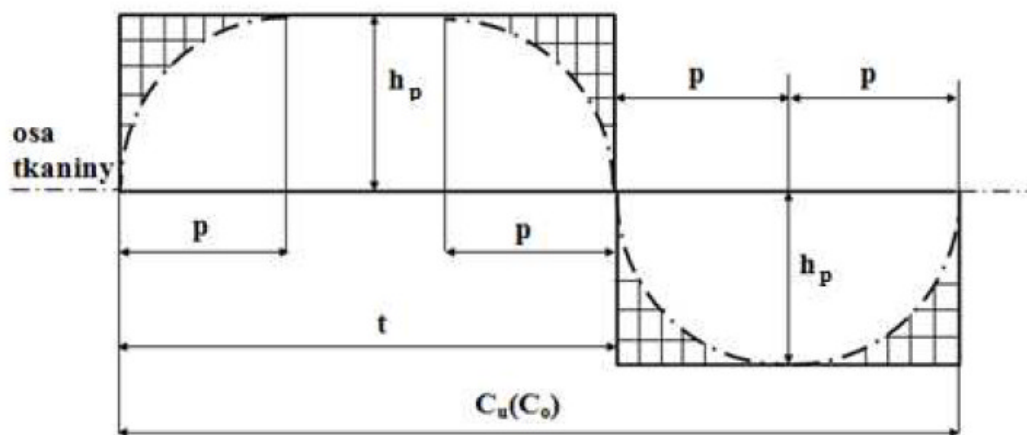


Obr. 4: Hyperbolický model provázání nití ve tkanině [ 34]

### Provázání pomocí Fourierových řad

Tvar vazné vlny je blízký harmonickému průběhu, proto se nabízí možnost popisu vazné vlny Fourierovou řadou harmonických funkcí s určitým spektrem amplitud a posuvu jednotlivých harmonických složek. Toto spektrum je dáno vazbou

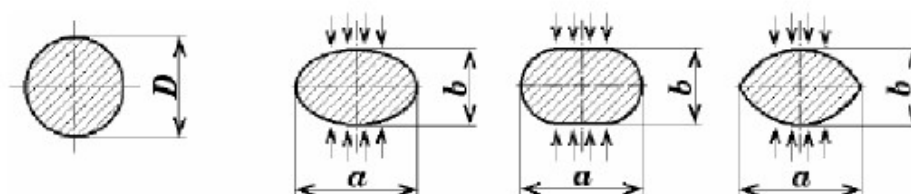
tkaniny, její střídou a tvarem přechodových křivek. Takovýto popis respektuje periodicitu a tvar celé vazné vlny jak u plátnové, tak u neplátnových vazeb. Případně lze snadněji vyjádřit provázání nití bez ohledu na skutečný tvar vazné vlny pomocí dvou obdélníku zmenšených o přechodové úseky.



Obr. 5: Provázání nití v tkanině pomocí Fourierových řad [ 34 ]

### Tvar průřezu nitě ve tkanině

Vazný bod se jeví jako kuželosečka, která vznikne při řezu tkaniny v rovině kolmé na řez. V ideálním případě by měla být na řezu tkaniny vidět kružnice. Tento stav prakticky nikdy nenastane, neboť je nit během výroby deformována. To má za následek stlačení, rozšíření a zhuštění nití. Proto se idealizovaný kružnicový tvar mění na elipsu, ovál nebo čočku (obr. 6). Jedním z rozhodujících faktorů určující stupeň deformace je např. druh materiálu, počet vláken v průřezu, síla při stlačení a dostava.

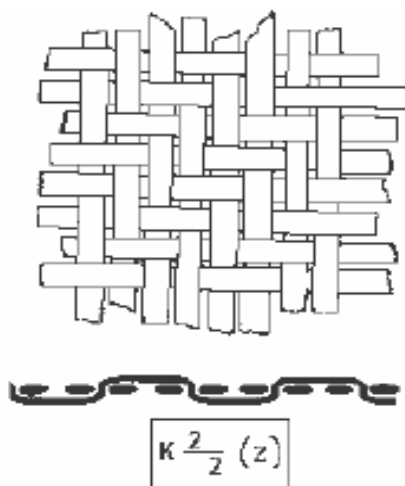


Obr. 6: Deformovaný průřez nitě (kružnice, elipsa, ovál, čočka [ 34 ]

## 2.4 Výztuž tkaninového kompozitu

Tkaninové výztuže mají lepší rozměrovou stabilitu než kompozity, které mají výztuže ze samostatných vláken. Tuto rozměrovou stabilitu mají lepší především díky dvousměrné geometrii rozložení (osnova, útek). Dále má mnohonásobně větší zaplnění v poměru k tloušťce vrstvy kompozitu oproti vlákenným výztužím v kompozitu. Tkaninová výztuž snižuje také náklady na výrobu, zmenšuje náchylnost k poškození a snadno se také přizpůsobuje složité geometrii kompozitu [5,9,10].

Pro experimentální část je použit kompozit s keprovou výztuží, kde keprová vazba tvoří přechod mezi plátňovou a atlasovou vazbou. Keprová vazba má symetrický průběh vazných vln a svými deformačními vlastnostmi se více podobá atlasové vazbě. Keprová vazba je definována s největší četností úseků s nulovým úhlem sklonu a malou délkou napřímených úseků [17].



Obr. 7: Keprová vazba výztuže [10]

### 2.4.1 Skleněná vlákna

Jak již bylo zmíněno, pro experimentální část je použit tkaninový kompozit s keprovou výztuží ze skleněných vláken. Skleněná vlákna jsou anorganická a mají vysokou škálu použití. Jejich velké plus je, že mají výborné technické vlastnosti, jako jsou vysoká pevnost, velká hodnota Youngova modulu v tahu, odolnost vůči vysokým teplotám, to znamená, že tyto vlákna se dají považovat za nehořlavá. Dobře odolávají chemikáliím a mají velmi dobré elektrické vlastnosti. Vykazují také nízkou tepelnou roztažnost. Nevýhodou skleněných vláken je malá odolnost vůči únavě a nízká adheze



k matici. Adheze se dá zvýšit pomocí povrchové úpravy, která má ovšem za následek snížení pevnosti konečného kompozitu. Nejčastěji se skleněná vlákna používají jako kompozit ve stavebním a v automobilovém průmyslu, a to díky tomu, že skleněná vlákna mají dobré tepelně-izolační a zvukové vlastnosti. Všechna skleněná vlákna mají silikátový základ  $\text{SiO}_2$  + dodatek. Dodatky se nejčastěji vyskytují jako: oxidy Ca, Br, Fe, Al, Mg. Používají se ve spojení s polymerní maticí [1,8,11,18,19,20,21,22].

Tři nejpoužívanější skleněná vlákna jsou:

<b>Tab. 1: Nejpoužívanější skleněná vlákna [ 19 ]</b>		
Druh skla	Pevnost v tahu [GPa]	E-modul [GPa]
E-sklo	1,7 – 3,5	69-72
S-sklo	2,0 – 4,5	85
C-sklo	1,7 – 2,8	70

Pro tvorbu tkaninového kompozitu musíme znát mechanické vlastnosti skleněných vláken, protože nám tyto vlastnosti ovlivňují konečné vlastnosti kompozitu. Mechanické vlastnosti popisují schopnost těles měnit tvar či objem působením různých druhů vnějších mechanických sil. Vnější síly vyvolávají v tkanině napětí, a tím mění svůj tvar, to znamená, že se deformují. Mechanické vlastnosti jsou ovlivňovány strukturou vláken, dobou namáhání, teplotou.

<b>Tab. 2: Mechanicko-fyzikální vlastnosti skleněných vláken [ 18]</b>	
Hustota při 20 °C Zdroje [ $\text{kg/m}^3$ ]	2600
Modul pružnosti v tahu [MPa]	70000
Pevnost v tahu [MPa]	1850 - 2150
Pevnost v tlaku [MPa]	300
Protažení při přetržení [%]	4,8
Změna pevnosti v tahu [%] - při relativní vlhkosti	72
- při teplotě 400 °C	52
Test tažnosti monofilu [MPa]	3400
Bod měknutí [°C]	840
Dolní teplota tuhnutí [°C]	617
Koeficient tepelné roztažnosti	$5,3 \times 10^{-6}$

Skleněná vlákna se vyrábějí tažením z taveniny, kdy se skleněná surovina ve formě sklářského kmene, kuliček nebo tyček roztaví. Rozeznáváme dva způsoby výroby skleněných vláken :

- dvoustupňový způsob
- jednostupňový způsob

Tkaniny ze skleněných vláken mají výborné technické vlastnosti jako je vysoká pevnost, odolnost vůči vysokým teplotám, odolnost vůči chemikáliím a dobré elektrické vlastnosti. Nevýhodou tkaniny ze skleněných vláken je, že má nízkou adhezi k matici a malou odolnost v ohybu.

## 2.5 Matrice textilního kompozitu

Matrice je pojivo textilní výztuže. Je fází tkaninového kompozitu, což znamená, že vyplňuje prostory v tkaninách, spojuje a chrání většinou křehká vlákna v tkanině před poškozením při zpracování a zároveň matrice udržuje tkaninu (vlákna) v požadované poloze. Matrice vznikne po nanesení, následném zpracování a vytvrzení pojiva na výztužnou tkaninu. Matrice přenáší na tkaninu vnější namáhání, proto je velmi důležité, aby vznikla dobrá adheze mezi tkaninovou výztuží a maticí. Výztužující tkanina musí mít vysokou smáčivost substrátu. Podle druhu pryskyřičného pojiva lze rozdělit tkaninové kompozity na termoplastové a na termosetové [10,25,26,27,28].

### 2.5.1 Polysiloxan

Polysiloxan (silikon) patří do skupiny termosetů. Termosety jsou pojiva, která vznikají vytvrzením chemickou reakcí při působení katalyzátoru a iniciátoru. Správně vytvrzený termoset odolává vyšším teplotám a neměkne. V porovnání s plastem je však křehčí a nelze jej recyklovat. Polysiloxany jsou anorganické polymery s obecným vzorcem  $[R_2SiO]_n$ , kde R je organický substituent (metyl, etyl, fenyl). Kostra polysiloxanu je tvořena řetězcem, ve kterém se střídají atomy křemíku a kyslíku díky siloxanové vazbě. Organické skupiny jsou navázány na atomy křemíku. Základní vzorec, na které jsou dle modifikace vázány další sloučeniny (R).



Vlastnosti:

- od produktů amorfních kapalných látek až po tuhé
- velmi vysoká tepelná odolnost  $-60^{\circ}\text{C}$  až  $+180^{\circ}\text{C}$  (ve spec. případech až  $+350^{\circ}\text{C}$ )
- odolávají UV záření a působení kyslíku a ozónu, působení chemikálií a povětrnostním podmínkám
- vodoodpudivost a paropropustnost
- elektrické izolanty, netoxické, nelepivé

Mechanické vlastnosti polysiloxanů se mění s teplotou ohřívání. Vzhledem k různorodosti způsobu namáhání a složitosti chování látek se mechanické vlastnosti rozdělují podle různých hledisek např. podle účinku vnějších sil na :

- deformační mechanické vlastnosti (elastické, vysokoelastické, plastické )
- destrukční mechanické vlastnosti (pevnost, odolnost v oděru)

## 2.6 Výroba tkaninového kompozitu

Velkou pozornost je třeba věnovat způsobu výroby tkaninového kompozitu. Určujícími faktory pro volbu technologie jsou:

- sériovost dílce
- velikost a členitost výrobků
- kvalita povrchu kompozitu
- požadované vlastnosti (pevnost, hmotnost
- náklady na výrobu kompozitu

Při výrobě tkaninového kompozitu je velmi pravděpodobné, že budeme muset zvolit určitý kompromis, aby bylo možné vyhovět vůbec všem požadavkům, nebo těm, které jsou nejdůležitější a nejvíce se jim přiblížit. Nejvýznamnějším faktorem ovlivňující volbu zpracování je sériovost, neboť dílce v malých sériích nelze vyrábět strojní technologií a naopak velké série není z ekonomického hlediska možné vyrábět ručním kladením.

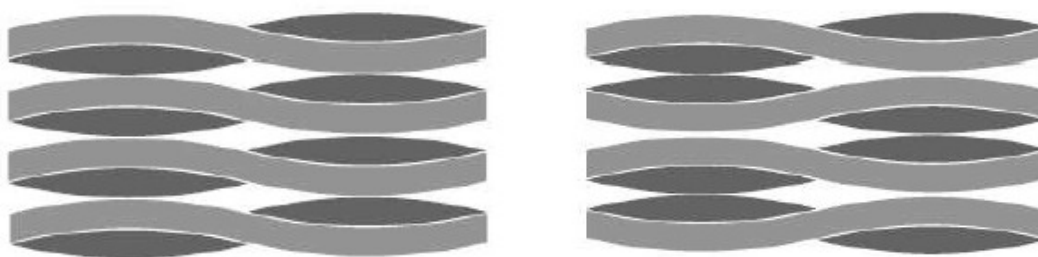
Tkaninový kompozit je vytvářen nakladením několika vrstev tkaniny na sebe. Tyto vrstvy tkaniny jsou tvořeny provázáním vláknenných svazků, které jsou složeny z několika tisíců vláken. Zmíněné prvky strukturního systému můžeme po prosycení matricí považovat za kompozit [10,12,13].

Pro výrobu tkaninového kompozitu se nejprve musí připravit samostatné vrstvy tzv. prepregy, které se posléze navrství na sebe a za určitých podmínek se zalisují k sobě a nechají se po určitou dobu tvrdnout. Rozeznáváme různé druhy vrstvení prepregů na sebe:

- ruční kladení (hand lay-up )
- stříkání (spray - up)
- lisování za studena
- lisování pomocí vakua
- lisování v autoklávu
- lisování za tepla a tlaku
- vysokotlaké vstřikování RTM (resin transfer moulding)
- tažení – pultruze ( pultrusion – process lay-out)

### 2.6.1 Způsob výroby prepregu

Prepregy jsou, jak již bylo řečeno v předchozím odstavci, polotovary k výrobě tkaninového kompozitu. Na povrch základní tkaniny se nanese pojivo. Takto vytvořený prepreg se vrství na sebe. Při vrstvení prepregů na sebe mohou být vrstvy kladeny fázově přesně, což znamená, že jsou vazné vlny ve fázi viz (obr. 8). Nebo můžeme použít vrstvení nepřesné, což znamená, že vazné vlny jsou mimo fázi viz (obr. 8) [10,14,15,16].



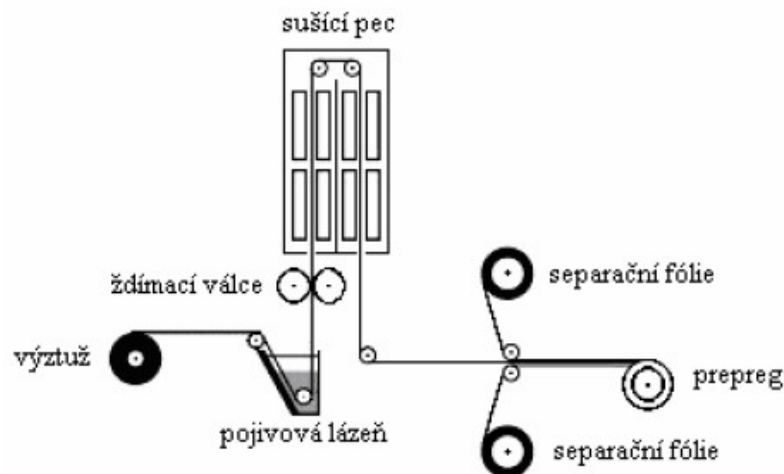
Vrstvy kladeny fázově přesně

Vrstvy kladeny fázově nepřesně

Obr. 8: Druhy kladení vrstev prepregů [35]

Pro výrobu prepregu je použito přístroje viz (obr. 9) . Přístroj funguje tak, že ze zbožího válu je odváděna vyztužující tkanina tkaninového kompozitu do lázně s pojivem. Dále tkanina pokračuje přes ždímací válce, kde se odstraní přebytečné pojivo a zmenší se i výskyt vzduchových bublin, ovlivňujících vlastnosti tkaninového

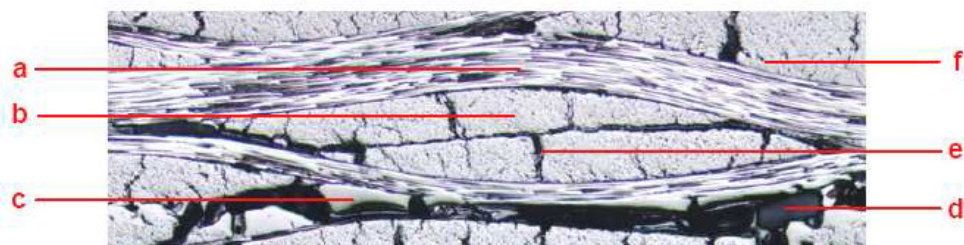
kompozitu. Takto připravený prepreg se suší v peci a dále se pak odvádí k dalšímu zpracování, nebo se může uskláňovat jako polotovar.



Obr. 9 : Výroba tkaninového prepregu pomocí impregnační lázně [13]

Prepregové listy se navrství do požadované tloušťky a dotvarují se ve formách. Poté se vrstvy slisují za určité teploty, tlaku a času. Na síle lisovacího tlaku je závislé prosycení tkaniny pojivem a skutečný podíl výztuže a matrice, který musí být optimální proto, aby jednotlivé složky dosáhly maximálního efektu vzájemné interakce.

Při technologickém procesu tkaninového kompozitu dochází k deformacím svazku, mikroskopickému skluzu, popřípadě se někdy může stát, že dojde k mechanickému zaklínění jednotlivých vrstev tkaniny. To znamená, že po výrobě tkaninového kompozitu je skutečná geometrie textilní vyztužující složky poměrně složitá a z velké míry odlišná od původní geometrie prepregu, tak i od geometrie volné tkaniny [4].



Obr. 10 : Strukturní prvky tkaninového kompozitu [10]

- a) podélné vlákenné svazky
- b) příčné vlákenné svazky
- c) matrice
- d) dutiny
- e) trhliny
- f) póry

### 3 Experimentální část

Experimentální část se zabývá určením modelu popisu geometrie vnitřní struktury tkaninového kompozitu vytvořeného za tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa. V experimentální části jsou popsány použité přístroje, příprava vzorků, zalévání vzorků do pryskyřice, nábrus vzorků a snímání vyhotovených vzorků v obrazové analýze. Ze snímaných vzorků jsou vypočítány geometrické charakteristiky vnitřní struktury a na základě těchto charakteristik je navrhnout matematický model geometrie výztuže. Experimentální část zahrnuje také vyhodnocení získaných výsledků a diskuzi.

#### 3.1. Použité přístroje

V experimentální části bylo použito těchto přístrojů:

- pilka na železo, nůžky na plech
- bruska MHT kompakt 1031 s brousícím nástavcem APX 010
- mikroskop Nikon ELIPSE LV100 se zvětšením 5x0,15A
- CCD kamera DS-5, posuvný stolek
- software NIS ELEMENTS 2.30
- počítač

#### 3.2 Příprava vzorků

Pro experimentální část byly k dispozici tkaninové kompozity s keprovou výztuží ve formě destiček o velikosti 100 x 100mm vyrobené za tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa. Jako výztuž byla použita skleněná vlákna provázána ve formě keprové vazby. Matrici tkaninového kompozitu tvoří polysiloxan, prekurzorem byla epoxidová pryskyřice LUKOSIL. Tkaninové kompozity jsou vyrobeny z 6 vrstev prepregů. Z každého tkaninového kompozitu byly odděleny vzorky o velikosti 10 x 10mm, a to dva vzorky po osnově a dva vzorky po útku. Celkem bylo tedy vytvořeno 12 vzorků. K oddělování vzorků byly použity dva způsoby: pilka na železo a nůžky na plech. Z (obr. 11) je patrné, že použití nůžek na plech se ukázalo lepším způsobem k oddělování vzorků než pilkou na železo, neboť vznikl mnohem hladší řez za velmi krátkou dobu.



Oddělení pilkou na železo



Oddělení nůžkami na plech

Obr. 11: Příprava vzorků pro další manipulaci ( lisování za tlaku 0,5MPa)

### 3.3 Zalévání vzorků do pryskyřice

Předpřipravené vzorky se po dvou zalévaly do plastových kroužků technickým dentakrylem. Vyráběný v balení jako 100g bezbarvý prášek a 100g tekutina. Tekutina je vysoce hořlavá kapalina, dráždí oči, dýchací orgány a kůži. Dentacryl je dvousložková metylmetakrylátová pryskyřice v kapalném stavu. Tato pryskyřice samovolně polymeruje tzv. chemickou iniciací, a to po smísení obou složek. Má velmi dobré izolační schopnosti, vysokou mechanickou pevnost a velmi dobrou tepelnou izolaci. Výrobek je nutné skladovat v suchu a temnu, při teplotě od 5 °C do 25 °C [24].



Dentacryl technický



Vzorky zalité v dentakrylu technickém

Obr. 12 : Výrobek DENTACRYL TECHNICKÝ+ vzorky

V keramické nádobce se smíchaly obě složky, jak uvádí výrobce v poměru 100 dílů prášku na 45-55 dílů tekutiny. Takto vzniklá tekutina byla příliš řídká pro zalévání vytvořených vzorků, neboť vzorky v této tekutině nedržely vodorovný stav. Tak by

vznikl skosený příčný řez, což by bylo nežádoucí. Proto byl pro experimentální část zvolen mísicí poměr 100 dílů prášku na 25-30 dílů tekutiny. Při rozpouštění prášku v tekutině bylo třeba dobře směs míchat, neboť prášek měl snahu sedimentovat na dno nádoby. Poté se hmota nalila do plastového kroužku a než došlo k jejímu zatvrdnutí byly do ní vloženy vzorky. Doba tuhnutí vzorku se pohybovala při 25°C v rozmezí 35 až 50 minut. Po vytvrzení dostala pryskyřice bezbarvou až mírně nažloutlou barvu.

### 3.4 Nábrus vzorků

Zcela zatvrdlé vzorky příčného řezu po osnově i po útku se vložily do upínacího zařízení, kam lze vložit s pomocí vyrovnávacího zařízení maximálně 6 příčných řezů zalitých v pryskyřici do maximální velikosti 32mm viz (obr.13). Do upínací hlavy se vzorky upevní pomocí imbusového klíče o velikosti 4.



Upínací zařízení z vrchu

Upínací zařízení ze zdola

Detail upínacího zařízení

Obr. 13 : Různé pohledy upínacího zařízení

Takto upnuté vzorky se vložily do automatického brousícího nástavce, kam se vkládaly různé druhy brusných papírů viz (obr. 14). Před samotným broušením upnutých vzorků se nejprve musel zvolit přítlak brousícího nástavce, a to na  $F=50\text{N}$ . Dále se ještě musely nařídit otáčky brousícího nástavce, a to na 60-65 otáček/min. Při broušení je velmi důležité, aby broušení brousícího nástavce šlo proti směru otáčení brousícího papíru, proto, aby bylo broušení intenzivnější. Při samotném broušení se přivádí proud vody, aby odváděl nečistoty z broušení. Vzorky se brousily v několika cyklech při různé jemnosti brousícího papíru viz (tab.3) (ukázky brusných papírů v příloze), aby byl brousící povrch dobře čitelný v obrazové analýze při následném snímání.



<b>Tab. 3:</b> Hodnoty pro broušení vzorků		
Hrubost brusného papíru	Počet výměn brusného papíru [ks]	Čas broušení jedním brusným papírem [min]
320	5	8
600	6	8
1200	2	16
2000	2	16



HMT kompakt 1031



Brousící nástavec APX 010

Obr. 14: Přístroj pro broušení a leštění HMT kompakt 1031 s brousícím nástavcem APX 010

### 3.5 Snímání vzorků

Vyleštěné nábrusy se dále snímaly pod mikroskopem značky Nikon Elipse LV100 a pomocí posuvného stolku se episkopicky snímaly kamerou DS-5 do složeného obrazu. Vzorek byl snímán pod zvětšením 5x0,15A. Ke snímání bylo použito polarizační světlo 0,8nm. Snímáno bylo celkem 12 vzorků. Pro představu je jeden snímáný vzorek uveden níže (obr.15) a ostatní snímáné vzorky jsou umístěny v příloze. Snímání jednoho obrazu trvalo přibližně 15- 20 min, což znamená, že celé snímání 12 obrazů trvalo kolem 3 – 4 hodin.



Obr. 15 : Snímáný vzorek (lisován při tlaku 0,2MPa – osnova)

### 3.6 Geometrické charakteristiky vnitřní struktury

Na snímaných vzorcích byly naměřeny pomocí softwaru NIS ELEMENTS 2.30 geometrické charakteristiky vnitřní struktury v jednotlivých vrstvách tkaninového kompozitu jak po osnově, tak i po útku. Geometrické charakteristiky vnitřní struktury měřené pro experimentální část:

- a) střední průběh vláknenných svazků
- b) tloušťka vláknenných svazků
- c) výška příčného průřezu vláknenného útvaru
- d) šířka příčného průřezu vláknenného útvaru

Pro tloušťku vláknenných svazků, šířku a výšku příčného průřezu vláknenného svazku jak pro osnovu, tak i pro útek byl vypočítán:

- průměr  $\bar{x}$  [ $\mu\text{m}$ ]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

- směrodatná odchylka  $s$  [ $\mu\text{m}$ ]

$$s = +\sqrt{s^2}, \quad s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2)$$

- variační koeficient  $V_x$  [%]

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3)$$

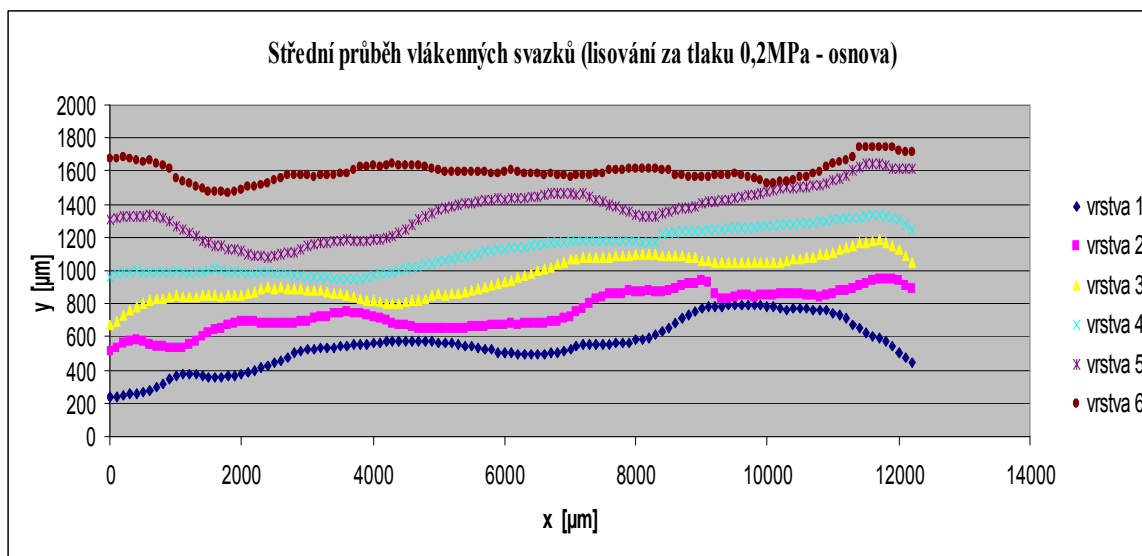
- 95% interval spolehlivosti [ $\mu\text{m}$ ]

$$t_{\alpha(n-1)} \cdot \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (4)$$

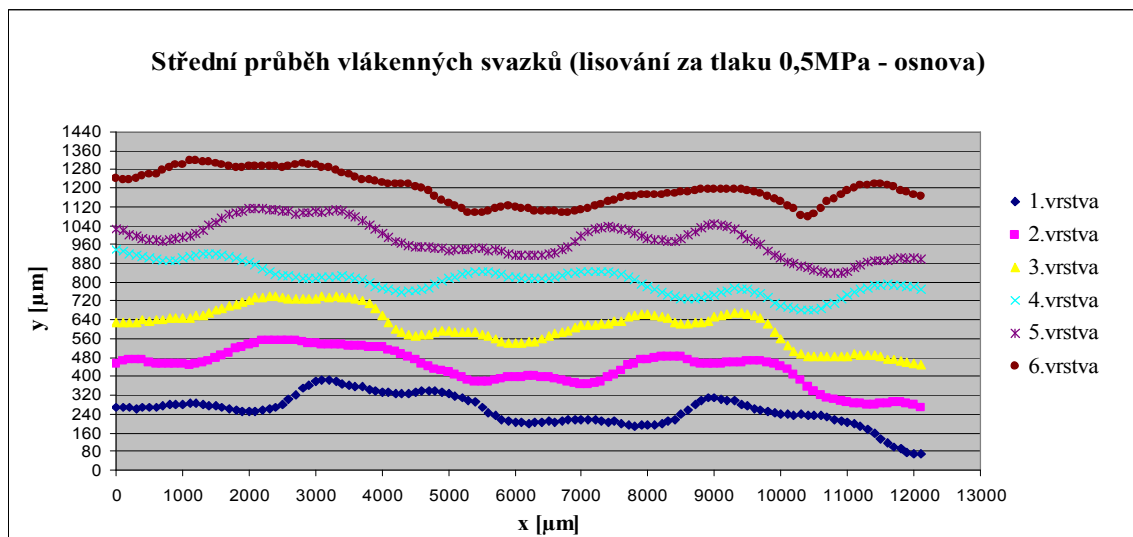
Naměřené hodnoty geometrických charakteristik vnitřní struktury jsou zaneseny v tabulkách a grafech níže.

### a) střední průběh vláknenných svazků

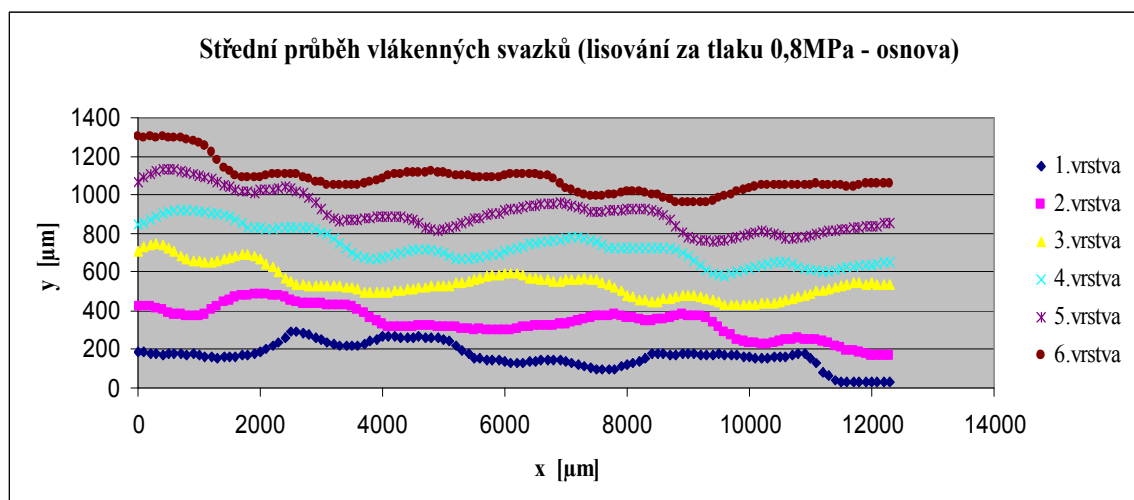
Pro střední průměr vláknenných svazků je v experimentální části uveden pouze jeden názorný obrázek grafu od každého pozorovaného lisovacího tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnovu; ostatní střední průběhy pro pozorované tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnovu i útek jsou uvedeny v příloze. Střední průběh vláknenných svazků byl získán změřením spodní vrstvy vláknenného svazku od nulové osy  $x$  a přičtením průměru tloušťky vláknenného svazku (průměr tloušťky v dané souřadnici  $x$ ). Hodnoty byly získávány po 100 [ $\mu\text{m}$ ].



Obr. 16: Graf - střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,2MPa –osnova)



Obr. 17: Graf - střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,5MPa –osnova)



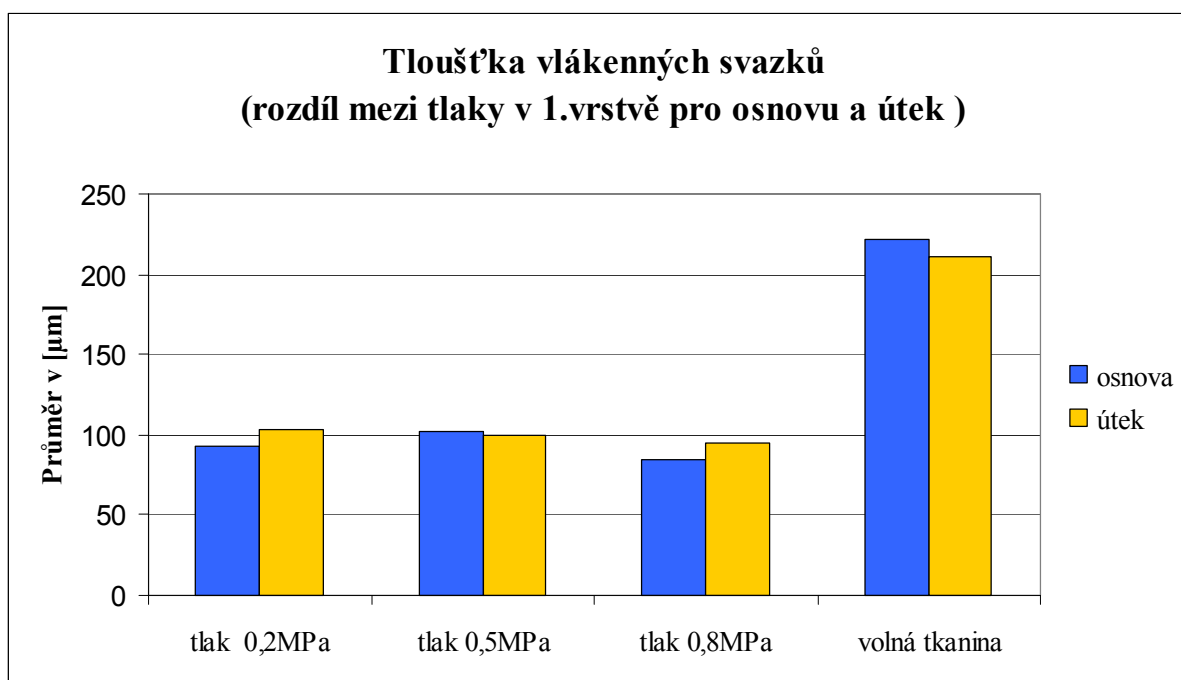
Obr. 18: Graf - střední průběh vlákněných svazků (lisování za tlaku 0,8MPa –osnova)

### b) Tloušťka vlákněných svazků

Výpočty tloušťky vlákněných svazků pro lisovací tlak 0,2MPa, 0,5MPa, 0,8MPa a volnou tkaninu pro osnovu i útek v jednotlivých vrstvách jsou uvedeny v grafech a tabulkách níže. Tloušťka vlákněných svazků byla získána změřením vrchní vrstvy vlákněného svazku od nulové osy x a odečtením spodní vrstvy vlákněného svazku.

**Tab. 4:** Geometrické charakteristiky vnitřní struktury 1. vrstva

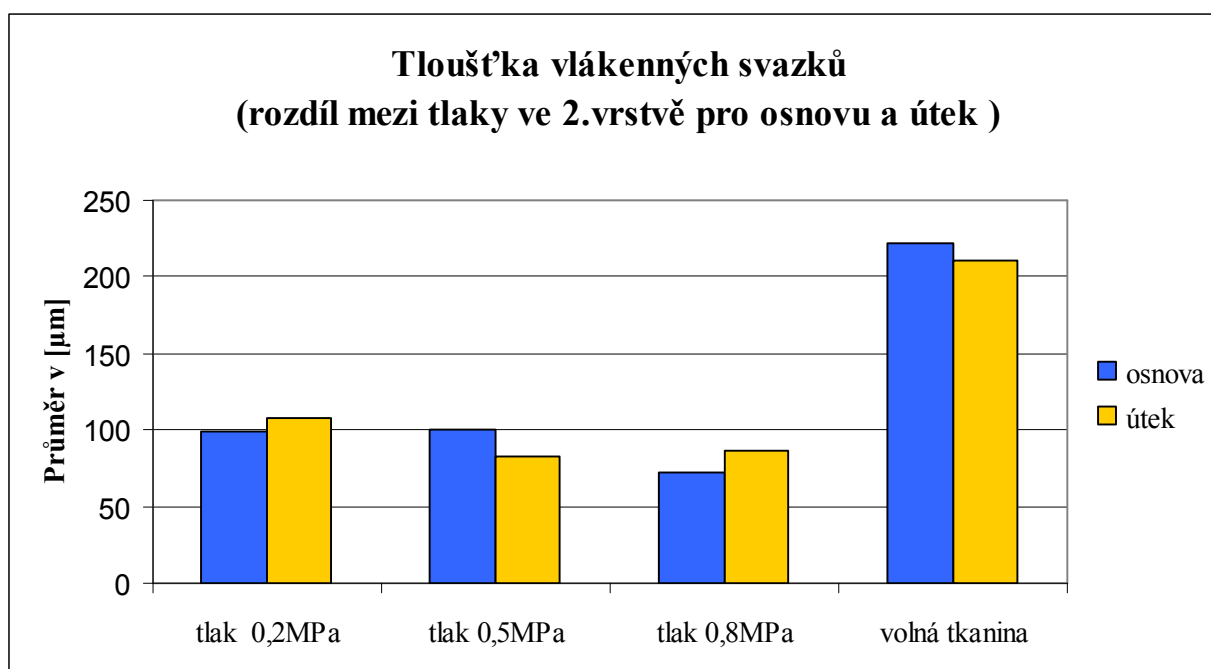
Tloušťka vlákněných svazků								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	93,05748	103,42902	102,51374	100,14985	84,46327	95,19537	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	14,06614	22,10962	10,40760	13,18102	18,62206	19,11300	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	16,82181	21,38982	10,11567	13,32992	22,51313	19,94716	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	90,56546	99,44397	100,59127	97,71895	81,26201	91,67368	218,03210	209,35200
	95,54949	107,41410	104,62814	102,58075	87,66453	98,71704	225,36790	212,87440



Obr. 19: Graf - tloušťka vláknenných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky v 1. vrstvě)

Z obr. 19 výše je patrné, že tloušťka vláknenných svazků se v 1.vrstvě zmenšila o polovinu od původní volné tkaniny u všech měřených tlaků. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,8MPa jak u osnovy, tak i u útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u útku při tlaku 0,2MPa a u osnovy při tlaku 0,5MPa.

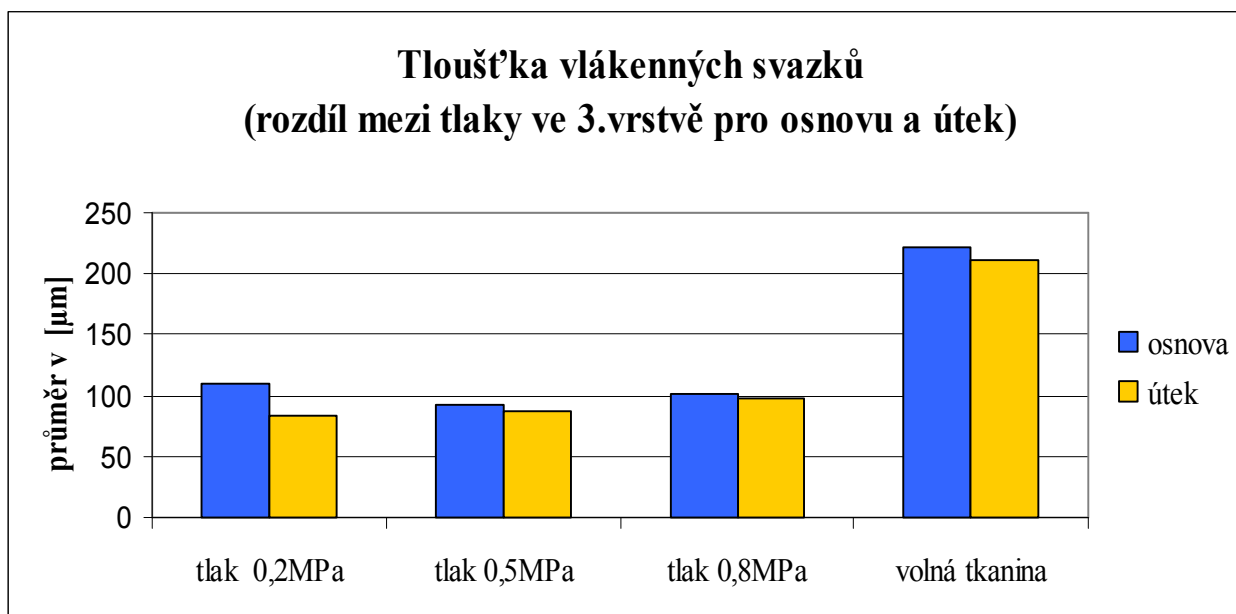
<b>Tab. 5: Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 2. vrstva</b>								
<b>Tloušťka vláknenných svazků</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	98,96747	108,33910	100,80890	81,90301	72,86595	86,65880	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	18,63358	13,93267	8,95081	21,71694	12,42374	18,36805	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	19,18771	13,00628	8,86651	25,97313	18,69124	21,19644	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	95,66742	105,7774	99,15792	78,07597	70,71340	83,41929	218,03210	209,35200
	102,26750	110,90080	102,45990	85,73005	75,01850	89,89835	225,36790	212,87440



Obr. 20 : Graf - Tloušťka vláknenných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky ve 2.vrstvě)

Z obr. 20 výše je patrné, že tloušťka vláknenných svazků se ve 2.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu od původní volné tkaniny u všech měřených tlaků. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,8MPa u útku a především u osnovy, velký úbytek je pozorován také u útku při tlaku 0,5MPa. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u útku a osnovy při tlaku 0,2MPa a u osnovy při tlaku 0,5MPa.

<b>Tab. 6: Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 3. vrstva</b>								
<b>Tloušťka vláknenných svazků</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	109,14300	84,04392	91,74421	86,30912	101,94500	96,66098	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	16,74818	19,93812	16,47503	32,69920	13,56831	21,81522	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	15,01578	24,15636	18,49449	37,90011	13,31317	22,85917	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	106,17630	80,42264	88,67869	80,29973	99,60150	92,87218	218,03210	209,35200
	112,10960	87,66520	94,80972	92,31850	104,28850	100,44970	225,36790	212,87440

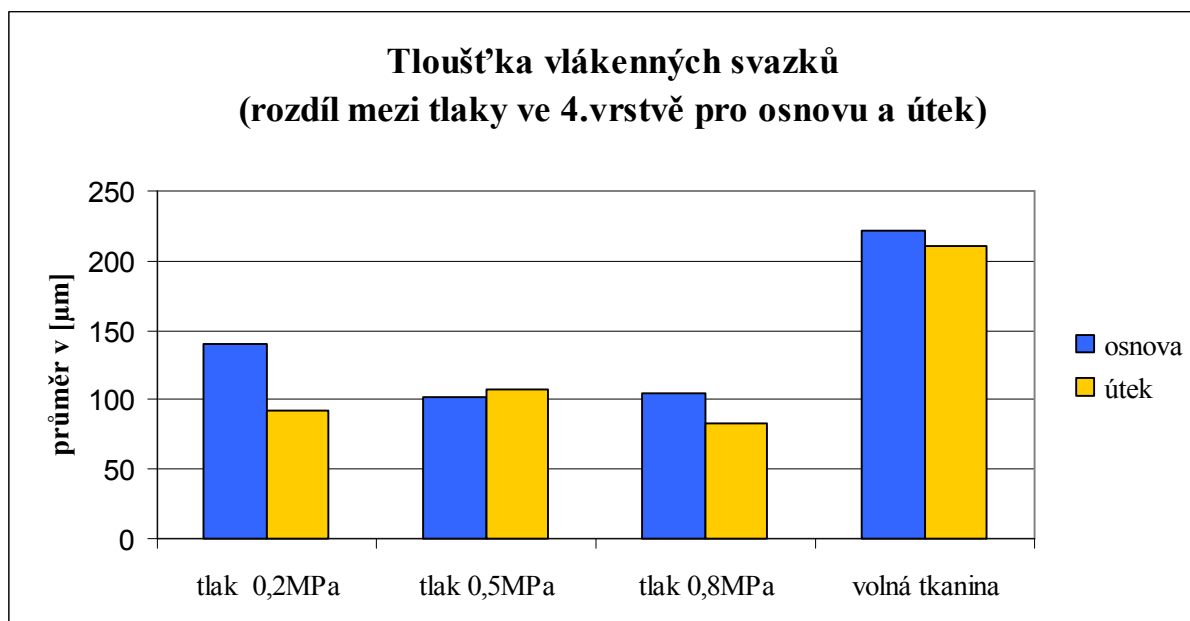


Obr. 21: Tloušťka vlákněných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky ve 3.vrstvě)

Z obr. 21 výše je patrné, že tloušťka vlákněných svazků se ve 3.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu od původní volné tkaniny u všech měřených tlaků. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,5MPa u osnovy i u útku a u útku při tlaku 0,2MPa. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy při tlaku 0,2MPa a při tlaku 0,8MPa u osnovy i u útku.

**Tab. 7:** Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 4. vrstva

Tloušťka vlákněných svazků								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	140,4332	92,96061	102,2854	107,4654	104,8325	83,08528	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	63,43771	14,47512	17,42299	19,89662	16,65326	20,22703	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	43,94667	15,52125	17,23034	18,95064	15,94441	24,17383	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	129,1992	90,18474	93,16395	103,9942	101,9674	79,39376	218,03210	209,35200
	151,6673	95,73648	99,43011	110,9366	107,6977	86,7768	225,36790	212,87440

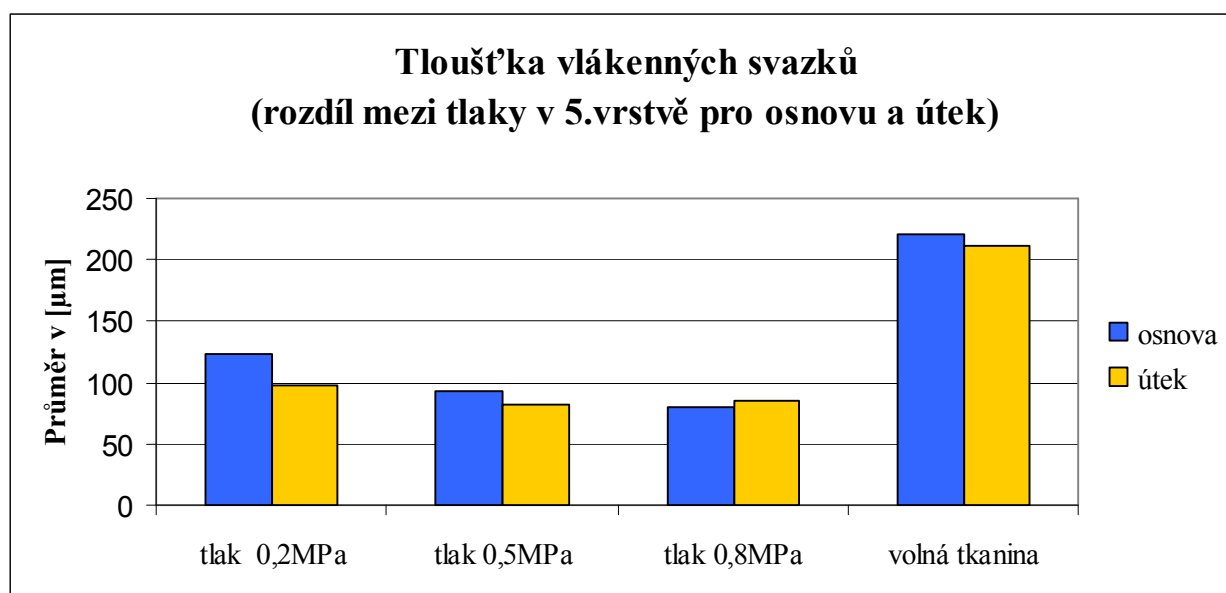


Obr. 22: Graf - tloušťka vláknenných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky ve 4.vrstvě)

Z obr. 22 výše je patrné, že tloušťka vláknenných svazků se ve 4.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u vzorků s tlakem 0,8MPa a 0,5MPa u osnovy i u útku a při tlaku 0,2MPa u útku. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,8MPa a 0,2MPa v útkách. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy při tlaku 0,2MPa a při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku.

<b>Tab. 8: Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 5. vrstva</b>								
<b>Tloušťka vláknenných svazků</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	123,5739	97,02949	93,58074	81,98834	80,50913	85,09656	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	38,24619	15,91574	19,84067	26,21619	16,79478	16,01975	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	29,97562	16,23518	21,06485	36,29657	20,76465	18,88818	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	116,7969	94,07289	89,90206	77,22398	77,61919	82,26711	218,03210	209,35200
	130,3509	99,98609	97,25941	86,75269	83,39906	87,92601	225,36790	212,87440

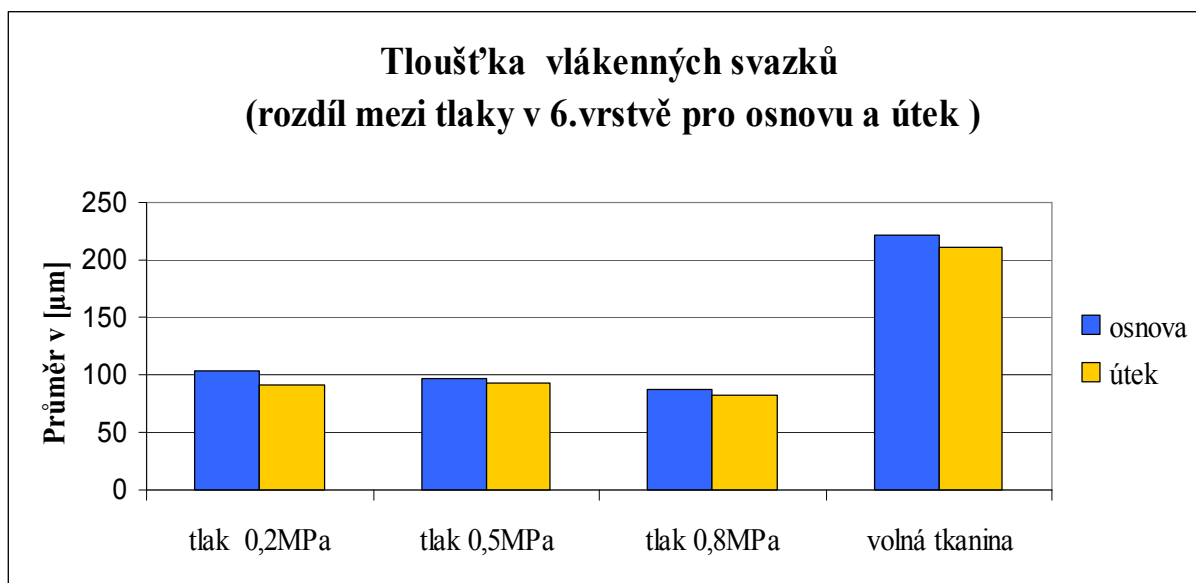




Obr. 23: Graf - tloušťka vláknenných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky v 5.vrstvě)

Z obr. 23 výše je patrné, že tloušťka vláknenných svazků se v 5.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u vzorku s tlakem 0,2MPa u osnovy i u útku vzorky s tlakem 0,5MPa a 0,8MPa se zmenšily o víc jak polovinu oproti volné tkanině. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy při tlaku 0,2MPa u osnovy i útku.

<b>Tab. 9: Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 6. vrstva</b>								
<b>Tloušťka vláknenných svazků</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek
Průměr [μm]	103,7422	90,90473	95,65269	93,17691	88,06131	83,01518	221,70000	211,11320
Směrodatná odchylka [μm]	24,48898	18,56009	13,11936	17,09549	14,48413	21,94672	7,48554	3,59421
Variační koeficient [%]	23,6056	20,43348	13,84511	18,36559	17,04079	26,88099	3,37643	1,70251
95% Interval spolehlivosti [μm]	99,37874	87,5221	93,26162	90,10973	85,57327	79,09757	218,03210	209,35200
	108,1057	94,28736	97,54375	96,24408	90,54936	86,93279	225,36790	212,87440



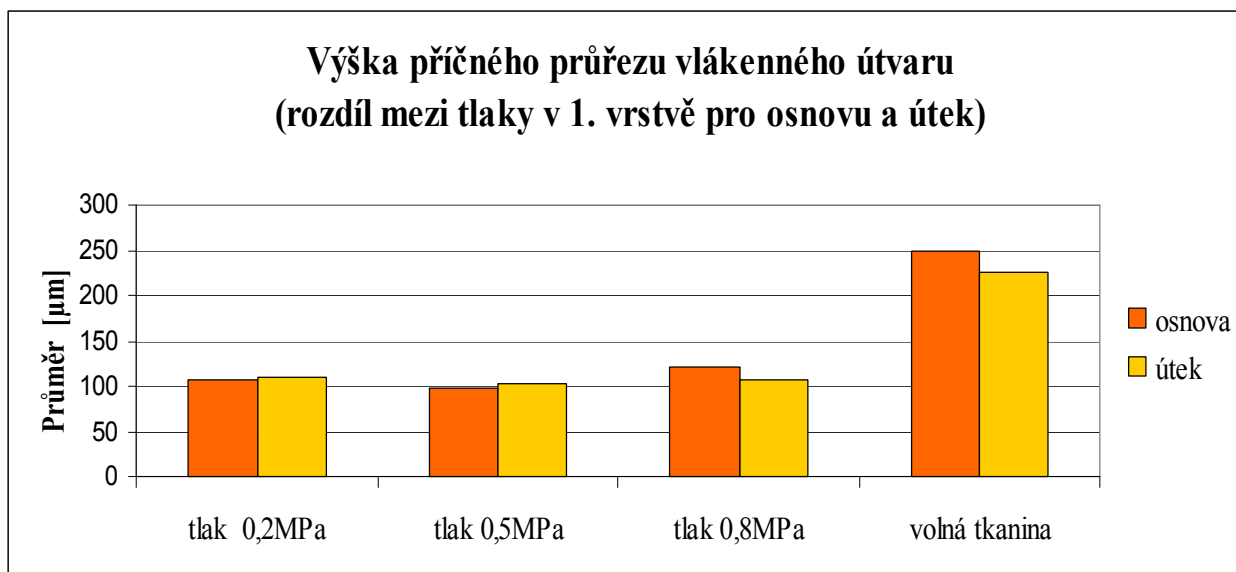
Obr. 24: Graf - tloušťka vlákněných svazků v osnově i v útku ( rozdíl mezi tlaky v 6.vrstvě)

Z obr. 24 výše je patrné, že tloušťka vláken v 6.vrstvě se zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek tloušťky vznikl při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy při tlaku 0,2MPa.

### c) Výška příčného průřezu vlákněného útvaru

Výpočet výšky příčného průřezu vlákněného útvaru pro tlaky 0,2MPa, 0,5MPa, 0,8MPa a volnou tkaninu pro osnovu i útek v jednotlivých vrstvách jsou uvedeny v grafech a tabulkách níže. Výška příčného průřezu byla získána změřením nejvyššího místa příčného průřezu vlákněného útvaru.

<b>Tab.10 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 1.vrstva</b>								
<b>Výška příčného průřezu vlákněného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	osnova
Průměr [μm]	110,10188	108,08563	101,94000	97,38875	106,10500	121,23313	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	9,82372	15,37685	9,82202	14,75306	10,07373	10,08830	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	8,92239	14,22654	9,63510	15,14862	9,49412	8,32141	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	105,28825 - 114,91550	100,55097 - 115,62028	97,12721 - 106,75279	90,15975 - 104,61775	101,16887 - 111,04113	116,28986 - 126,17639	246,61811 - 251,75689	220,67543 - 228,44957



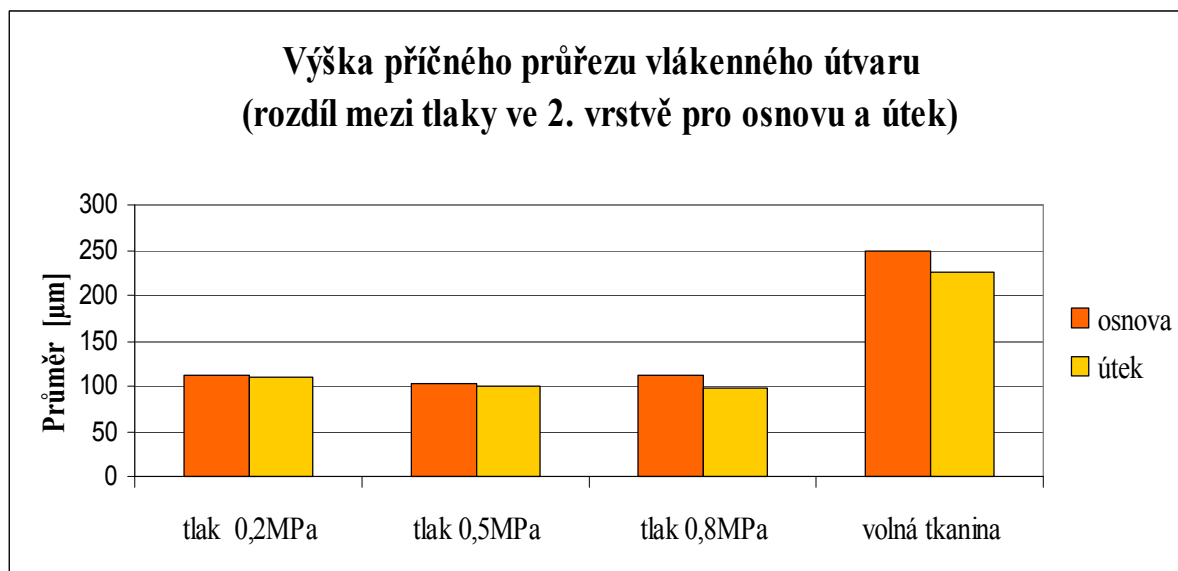
Obr. 25: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 1.vrstvě)

Z obr. 25 výše je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se v 1.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl při tlaku 0,5MPa u osnovy i útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy při tlaku 0,8MPa.

<b>Tab.11 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 2.vrstva</b>								
<b>Výška příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	109,26813	110,47000	101,15375	102,12438	98,33000	112,61938	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	9,66794	13,77158	8,19848	13,82137	10,28805	8,06242	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	8,84790	12,46635	8,10497	13,53386	10,46278	7,15900	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	104,53084	103,72193	97,13650	95,35190	93,28885	108,66879	246,61811	220,67543
	114,00541	117,21807	105,17100	108,89685	103,37115	116,56996	251,75689	228,44957

Z obr. 26 níže je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se ve 2.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl

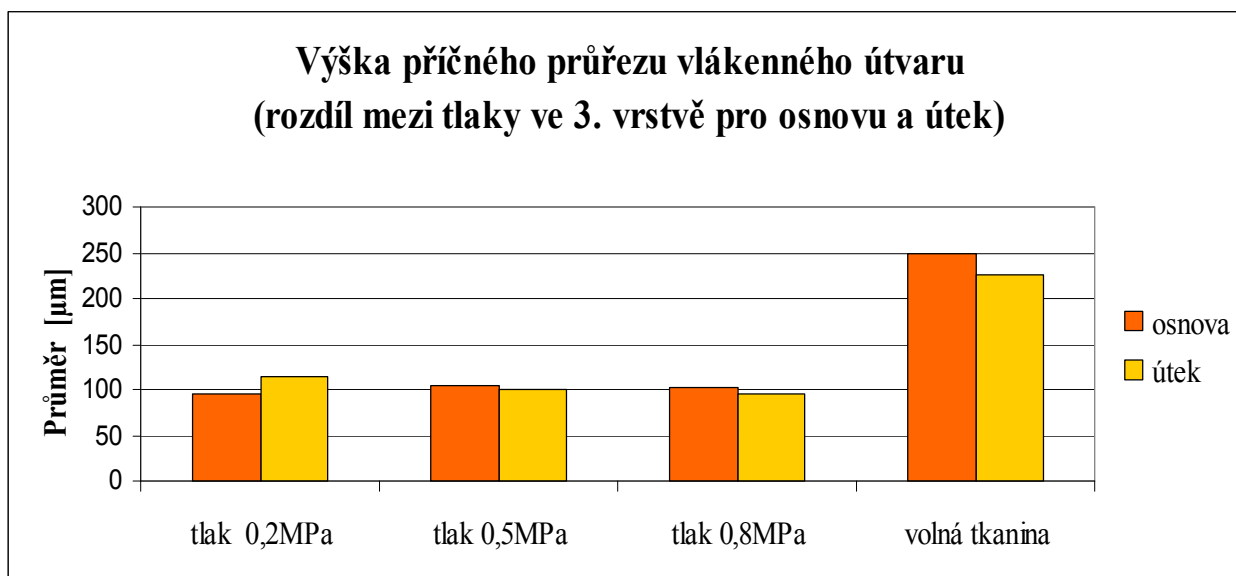
při tlaku 0,8MPa u útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnova při tlaku 0,8MPa a u tlaku 0,2MPa u osnova i útku.



Obr. 26: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 2.vrstvě)

<b>Tab.12 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 3.vrstva</b>								
<b>Výška příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	113,38000	96,08563	100,61875	105,76063	94,80000	102,51875	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	8,07501	14,91421	7,00286	8,53481	8,21766	10,40740	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	7,12207	15,52179	6,95979	8,06993	8,66842	10,15170	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	109,42325	88,77766	97,18735	101,57857	90,77334	97,41912	246,61811	220,67543
	117,33675	103,39359	104,05015	109,94268	98,82666	107,61838	251,75689	228,44957

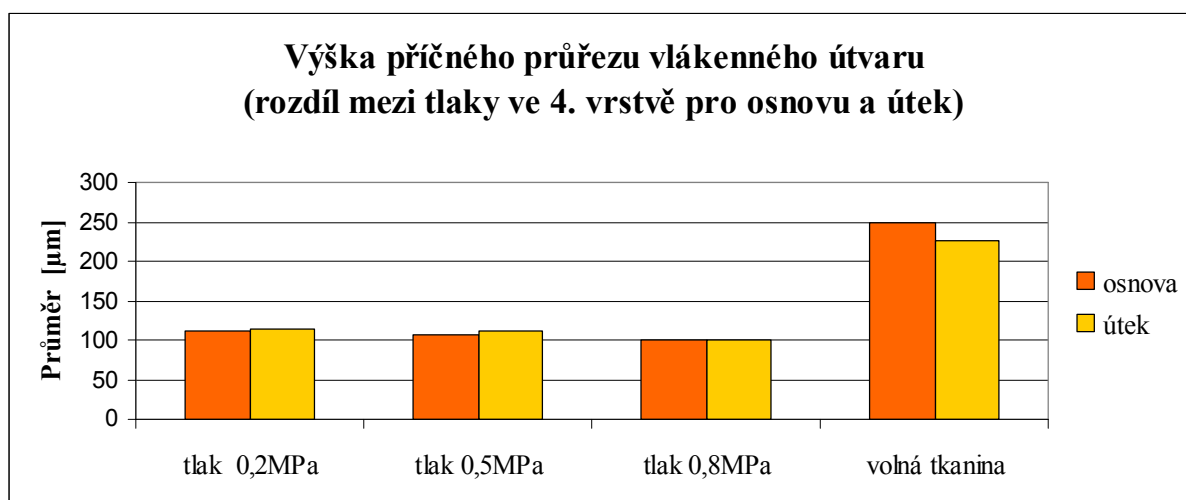
Z obr. 27 níže je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se ve 3.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl při tlaku 0,8MPa u osnova i útku a u tlaku 0,2MPa u osnova. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u útku při tlaku 0,2MPa.



Obr. 27: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 3.vrstvě)

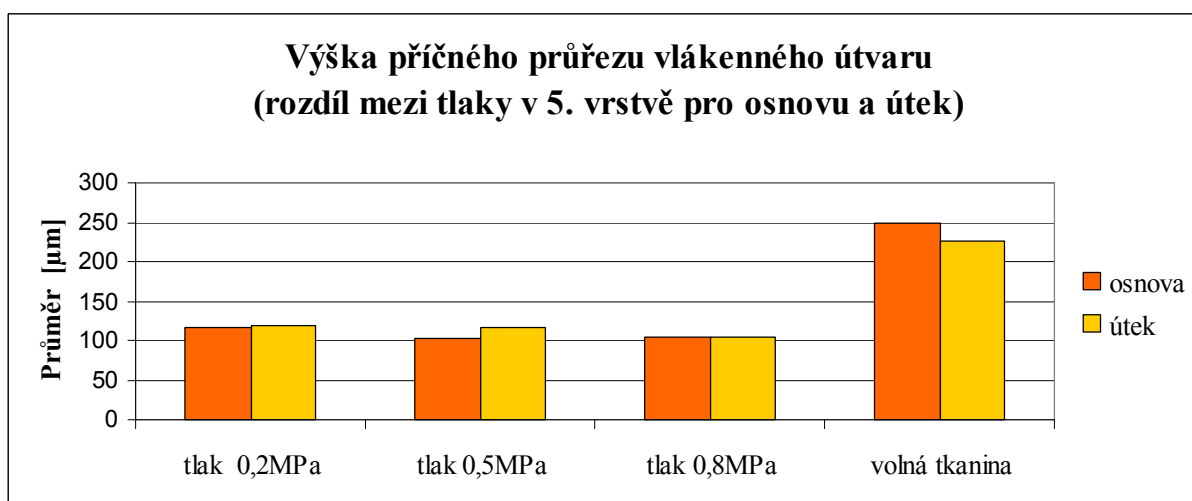
<b>Tab.13: Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 4.vrstva</b>								
<b>Výška příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	113,93563	111,40375	110,97563	107,03250	100,59375	100,73938	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	8,93315	9,28474	9,36112	16,45596	8,24175	12,55956	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	7,84052	8,33431	8,43530	15,37473	8,19310	12,46738	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	109,55838	106,85423	106,38867	98,96908	96,55529	94,58519	246,61811	220,67543
	118,31287	115,95327	115,56258	115,09592	104,63221	106,89356	251,75689	228,44957

Z obr.28 níže je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se ve 4.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy i útku při tlaku 0,2MPa a 0,5MPa.



Obr.28: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 4.vrstvě)

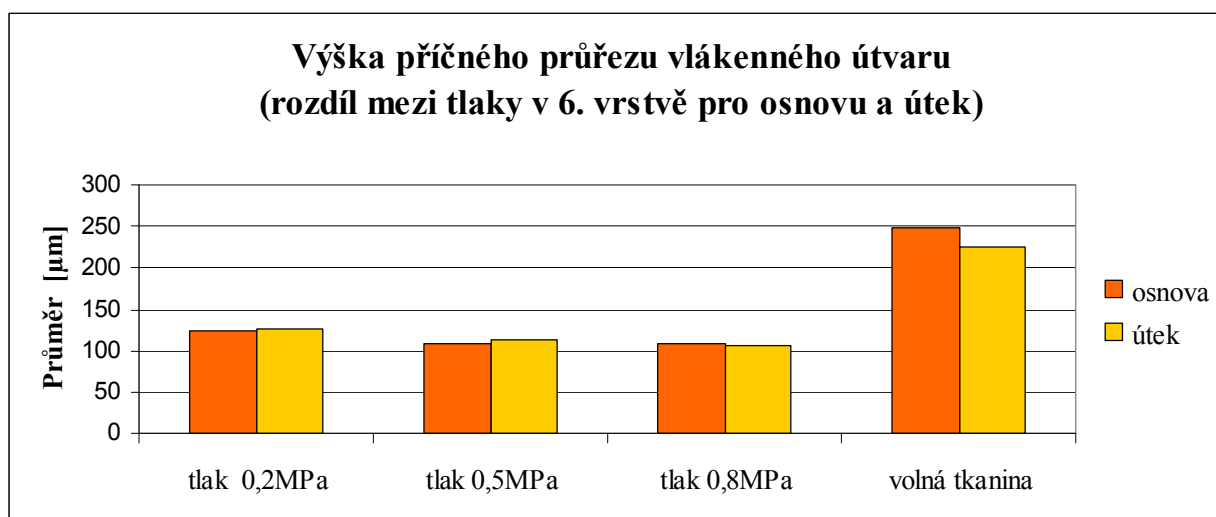
Tab.14 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 5.vrstva								
Výška příčného průřezu vláknenného útvaru								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	118,87250	115,81938	115,70188	103,41313	104,89313	104,46063	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	11,08347	12,42316	13,86281	13,67838	8,70835	9,59290	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	9,32383	10,72632	11,98149	13,22692	8,30212	9,18327	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	113,44160	109,73203	108,90910	96,71072	100,62603	99,76010	246,61811	220,67543
	124,30340	121,90672	122,49465	110,11553	109,16022	109,16115	251,75689	228,44957



Obr. 29: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 5.vrstvě)

Z obr. 29 výše je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se v 5.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku a při tlaku 0,5MPa u osnovy. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnovy i útku při tlaku 0,2MPa a při tlaku 0,5MPa u útku.

<b>Tab.15 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 6.vrstva</b>								
<b>Výška příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	125,39688	123,74000	112,89750	107,57813	105,54688	108,39500	249,18750	224,56250
Směrodatná odchylka [μm]	13,10978	15,47868	9,82366	18,08830	12,29411	15,45456	5,24365	7,93279
Variační koeficient [%]	10,45463	12,50903	8,70140	16,81411	11,64801	14,25763	2,10430	3,53255
95% Interval spolehlivosti [μm]	118,97308	116,15545	108,08391	98,71486	99,52276	100,82227	246,61811	220,67543
	131,82067	131,32455	117,71109	116,44139	111,57099	115,96773	251,75689	228,44957



Obr. 30: Graf - výška příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 6.vrstvě)

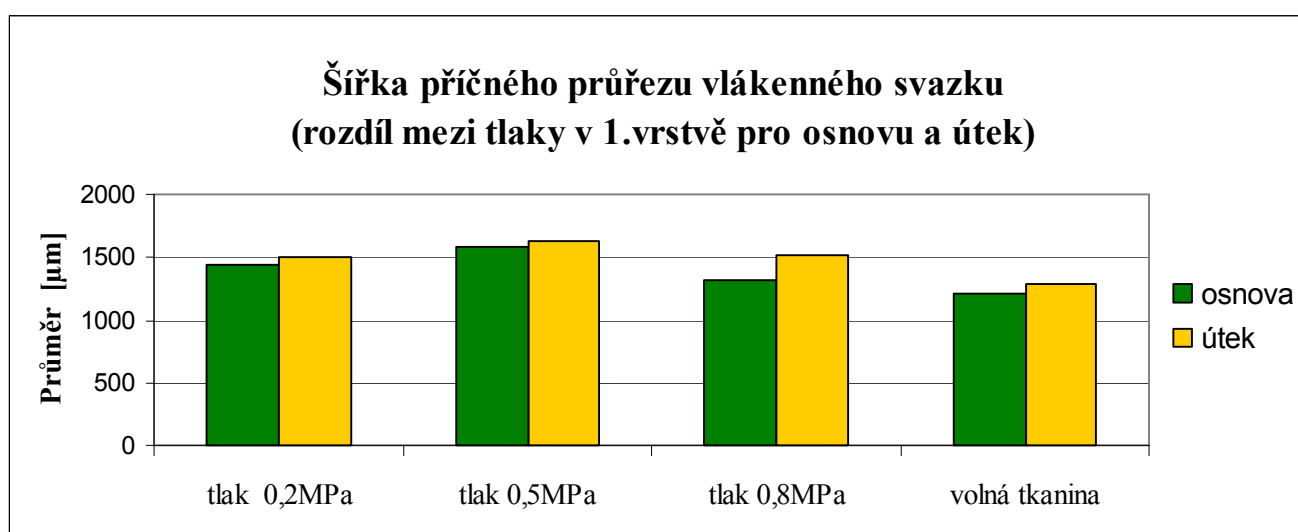
Z obr. 30 je patrné, že výška příčného průřezu vláknenného útvaru se v 6.vrstvě zmenšila přibližně o polovinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší úbytek výšky příčného průřezu vznikl při tlaku

0,8MPa u osnova i útku. Naopak nejmenší úbytek je pozorován u osnova i útku při tlaku 0,2MPa a 0,5MPa.

#### d) Šířka příčného průřezu vlákenného útvaru

Výpočty šířky příčného průřezu vlákenného útvaru pro lisovací tlaky 0,2MPa, 0,5MPa, 0,8MPa a volnou tkaninu pro osnova i útek v jednotlivých vrstvách jsou uvedeny v grafech a tabulkách níže. Šířka příčného průřezu vlákenného útvaru byla získána změřením nejširšího místa v příčném průřezu vlákenného útvaru.

<b>Tab.16 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 1.vrstva</b>								
<b>Šířka příčného průřezu vlákenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1499,74063	1448,55625	1628,33750	1588,36563	1522,27063	1313,77313	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	156,11246	83,36627	120,91764	157,44557	92,63060	108,95953	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	10,40930	5,75513	7,42583	9,91240	6,08502	8,29359	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1423,24552	1407,70650	1569,08785	1511,21766	1476,88164	1260,38285	1211,69917	1286,26526
	1576,23573	1489,40547	1687,58715	1665,51434	1567,65963	1367,16316	1216,42583	1290,73474

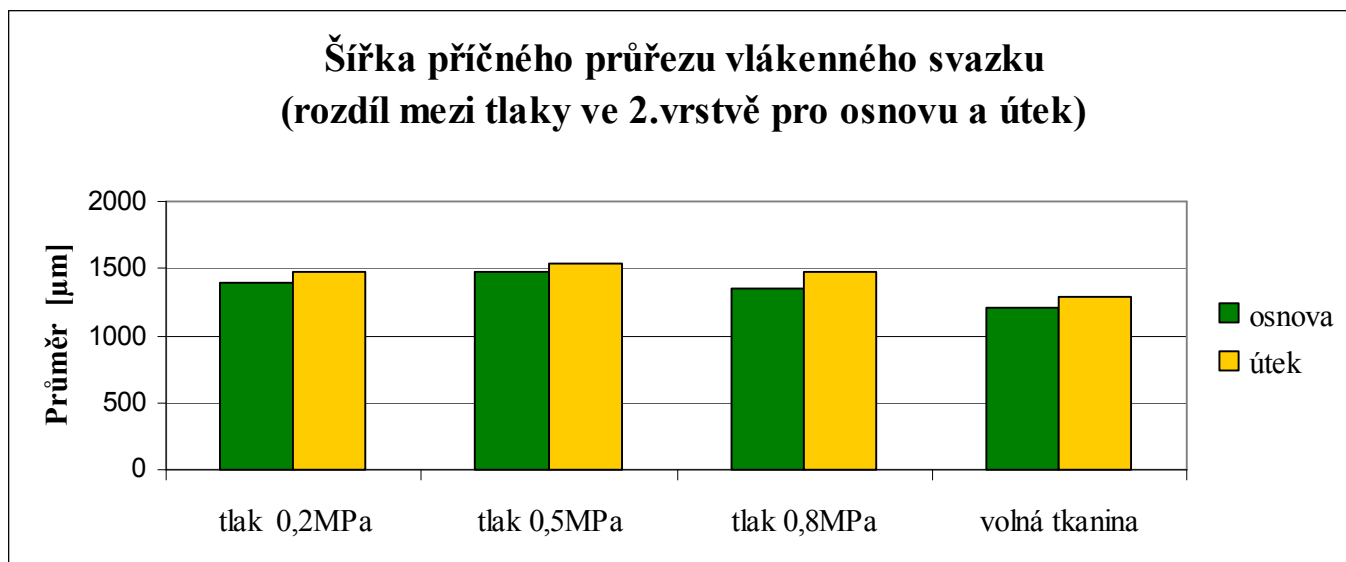


Obr. 31: Graf - šířka příčného průřezu vlákenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 1.vrstvě)



Z obr. 31 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vláknenného útvaru se v 1.vrstvě zvětšila přibližně o jednu třetinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu vzniklo při tlaku 0,5MPa u osnovy i útku, menší zvětšení lze pozorovat u tlaku 0,2MPa u osnovy i útku a při tlaku 0,8MPa u útku. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy při tlaku 0,8MPa.

<b>Tab.17 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 2.vrstva</b>								
<b>Šířka příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1465,85125	1395,56688	1535,96688	1467,96750	1466,90938	1344,90938	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	103,59530	186,70625	170,46970	135,93037	82,75355	107,84634	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	7,06725	13,37852	11,09853	9,25977	5,64135	8,01886	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1415,08955	1304,08081	1452,43672	1401,36162	1426,36013	1292,06467	1211,69917	1286,26526
	1516,61295	1487,05294	1619,49703	1534,57338	1507,45862	1397,75408	1216,42583	1290,73474

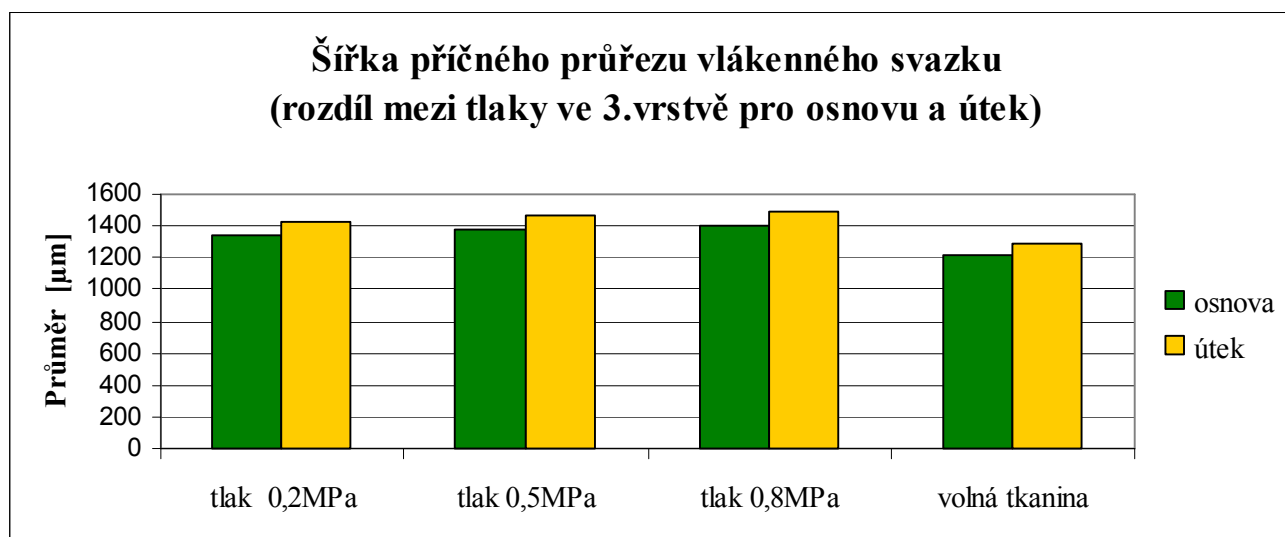


Obr. 32: Graf - šířka příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 2.vrstvě)

Z obr. 32 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vláknenného útvaru se ve 2.vrstvě zvětšila přibližně o jednu třetinu u všech srovnávaných vzorků s tlakem

0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu vzniklo při tlaku 0,5MPa u osnovy i útku, menší zvětšení lze pozorovat u tlaku 0,2MPa u osnovy i útku a při tlaku 0,8MPa u útku. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy při tlaku 0,8MPa.

<b>Tab.18 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 3.vrstva</b>								
<b>Šířka příčného průřezu vlákenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1428,35438	1344,39688	1463,47813	1380,95813	1492,97000	1403,15375	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	91,67811	344,25191	91,00101	157,86101	101,20553	150,79463	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	6,41844	25,60642	6,21813	11,43127	6,77881	10,74684	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1383,43210	1175,71344	1418,88763	1303,60623	1443,37929	1329,26438	1211,69917	1286,26526
	1473,27665	1513,08031	1508,06862	1458,31002	1542,56071	1477,04312	1216,42583	1290,73474

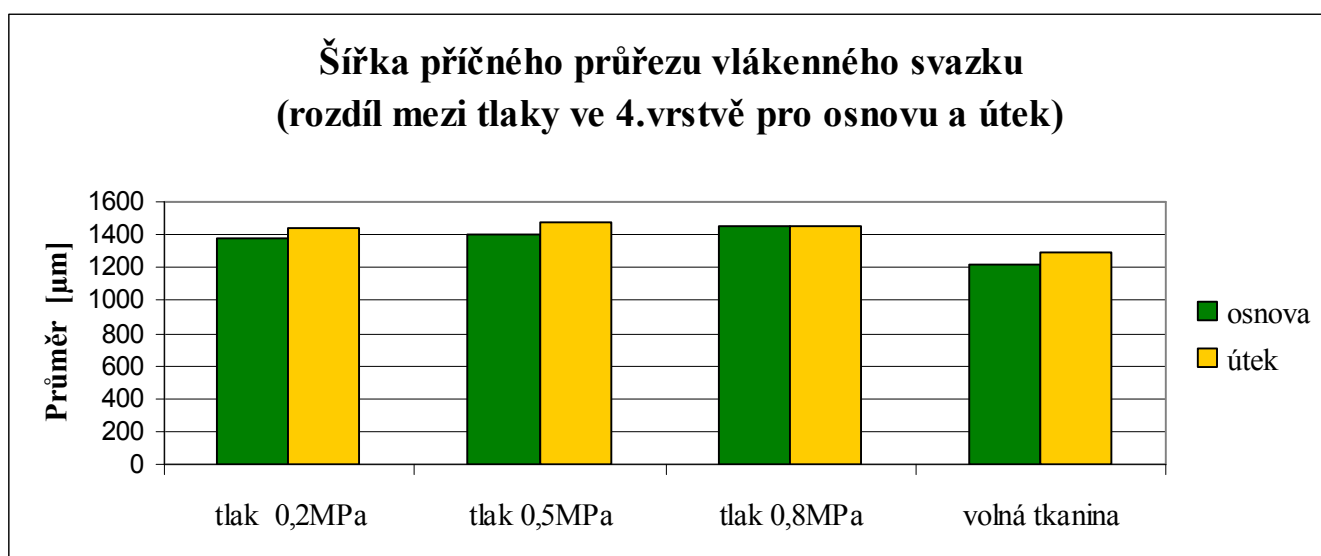


Obr. 33: Graf - šířka příčného průřezu vlákenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 3.vrstvě)

Z obr. 33 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vlákenného útvaru se ve 3.vrstvě zvětšila přibližně o 200 [μm] u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu vzniklo při tlaku 0,8MPa a u 0,5MPa v útku, menší zvětšení lze pozorovat u

tlaku 0,5MPa a 0,8MPa u osnovy. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy při tlaku 0,2MPa.

<b>Tab.19 : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 4.vrstva</b>								
<b>Šířka příčného průřezu vláknenného útvaru</b>								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1442,35063	1378,18563	1479,08813	1398,47313	1453,06875	1449,56563	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	54,75321	79,57319	101,14964	106,01186	101,48393	94,61889	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	3,79611	5,77376	6,83865	7,58054	6,98411	6,52740	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1415,52155	1339,19476	1429,52480	1346,52731	1403,34162	1403,20237	1211,69917	1286,26526
	1469,17970	1417,17649	1528,65145	1450,41894	1502,79588	1495,92888	1216,42583	1290,73474

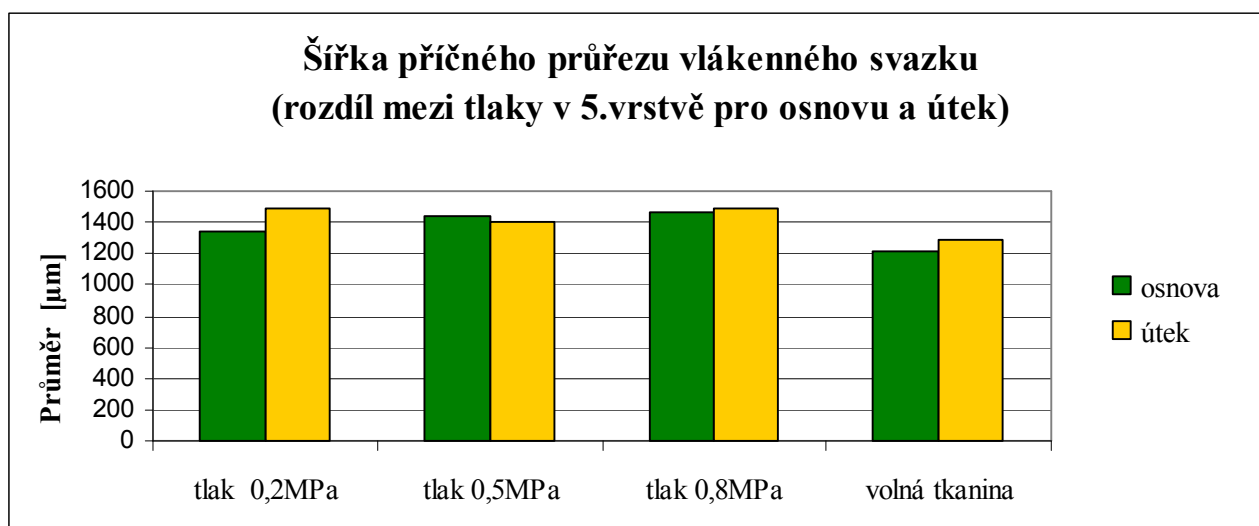


Obr. 34: Graf - šířka příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky ve 4.vrstvě)

Z obr. 34 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vláknenného útvaru se ve 4.vrstvě zvětšila přibližně o 200 [μm] u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu lze pozorovat při tlaku 0,5MPa a u 0,2MPa v útku, menší zvětšení lze pozorovat u tlaku 0,8MPa u osnovy i útku. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy při tlaku 0,2MPa a 0,5MPa

**Tab.20** : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 5.vrstva

Šířka příčného průřezu vláknenného útvaru								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1487,42625	1333,46125	1405,16688	1437,74688	1489,43625	1468,96750	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	83,37160	132,42136	81,40223	113,34772	97,23500	81,54080	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	5,60509	9,93065	5,79307	7,88370	6,52831	5,55089	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1446,57417	1268,57478	1365,27978	1382,20649	1441,79110	1429,01251	1211,69917	1286,26526
	1528,27833	1398,34772	1445,05397	1493,28726	1537,08140	1508,92249	1216,42583	1290,73474

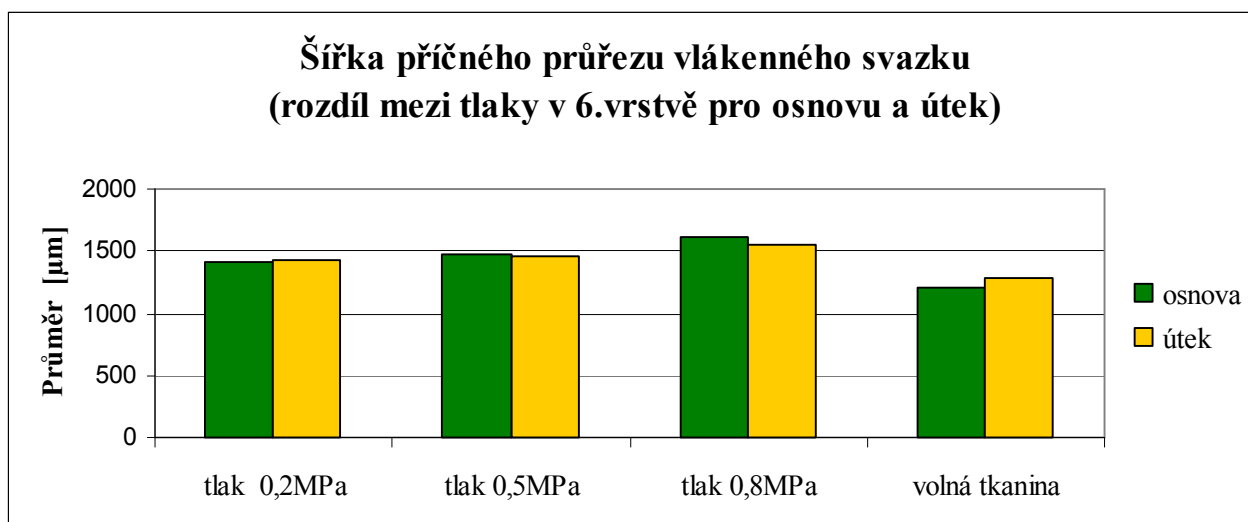


Obr. 35: Graf - šířka příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 5.vrstvě)

Z obr. 35 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vláknenného útvaru se v 5.vrstvě zvětšila přibližně o 200 [μm] u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu lze pozorovat při tlaku 0,8MPa u osnovy i útku a u tlaku 0,2MPa v útku, menší zvětšení lze pozorovat u tlaku 0,5MPa u osnovy i útku. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy při tlaku 0,2MPa.

**Tab.21** : Geometrické charakteristiky vnitřní struktury - 6.vrstva

Šířka příčného průřezu vláknenného útvaru								
	Tlak 0,2MPa		Tlak 0,5MPa		Tlak 0,8MPa		Volná tkanina	
	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Útek	Osnova	Osnova	Útek
Průměr [μm]	1418,90375	1405,74000	1451,68563	1466,70688	1557,31125	1616,10750	1214,06250	1288,50000
Směrodatná odchylka [μm]	56,25179	196,16769	107,15948	164,42810	144,28886	193,90441	4,82312	4,56070
Variační koeficient [%]	3,96445	13,95476	7,38173	11,21070	9,26526	11,99824	0,39727	0,35395
95% Interval spolehlivosti [μm]	1391,34038	1309,61783	1399,17748	1386,13710	1486,60971	1521,09434	1211,69917	1286,26526
	1446,46712	1501,86217	1504,19377	1547,27665	1628,01279	1711,12066	1216,42583	1290,73474

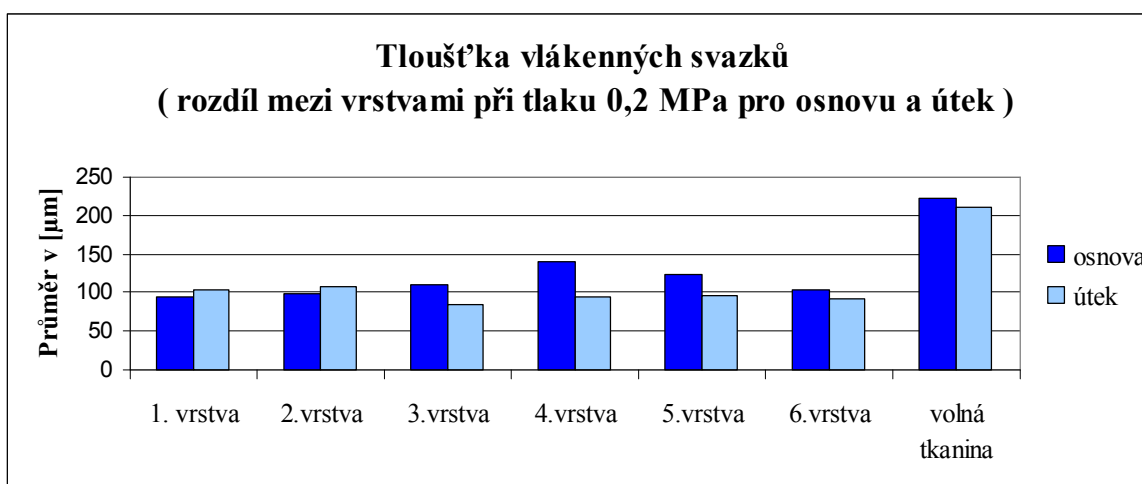


Obr. 36: Graf - šířka příčného průřezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 6.vrstvě)

Z obr. 36 výše je patrné, že šířka příčného průřezu vláknenného útvaru se v 6.vrstvě zvětšila přibližně o 200 [μm] u všech srovnávaných vzorků s tlakem 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa oproti volné tkanině. Největší zvětšení šířky příčného průřezu lze pozorovat při tlaku 0,8MPa v osnově i útku, menší zvětšení lze pozorovat u tlaku 0,5MPa u osnovy i útku. Naproti tomu nejmenší zvětšení je pozorováno u osnovy i útku při tlaku 0,2MPa.

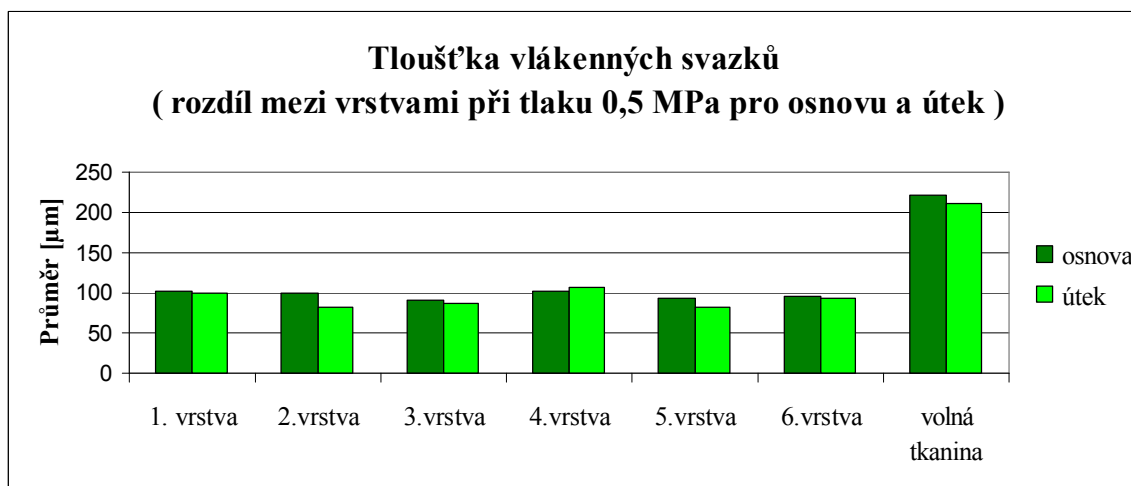
### 3.7 Vyhodnocení výsledků geometrických charakteristik

Obr. 37 až 39 znázorňují změnu tloušťky vlákněných svazků, obr. 40 až 42 znázorňují změnu výšky příčného průřezu vlákněného útvaru a obr. 43 až 45 znázorňují šířky příčného průřezu vlákněného útvaru. Sledují se tedy změny geometrické charakteristiky vnitřní struktury mezi jednotlivými vrstvami v osnově a útku pro jednotlivé tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa a srovnávají se s volnou tkaninou.



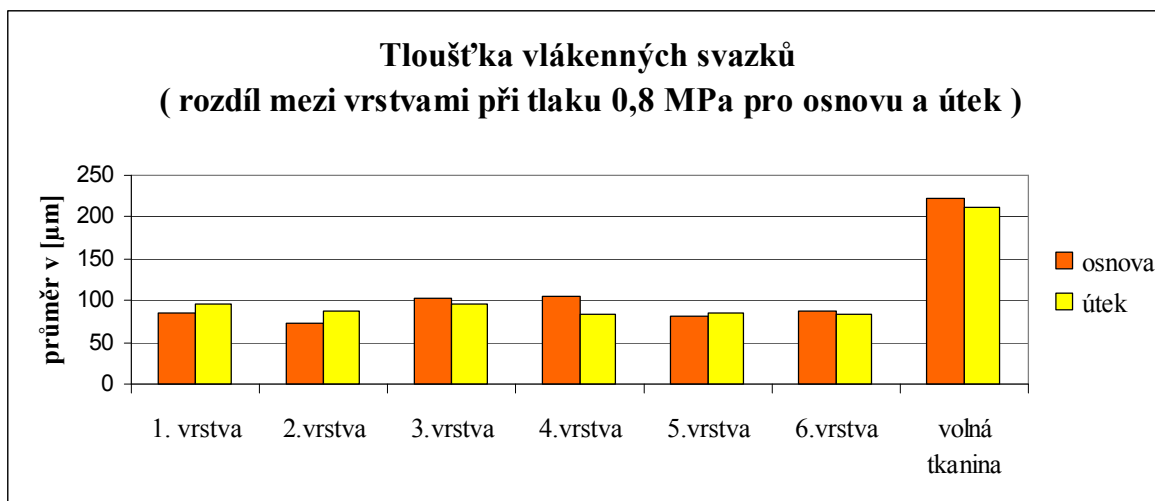
Obr. 37: Graf - tloušťka vlákněných svazků (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa)

Z obr. 37 je patrné, že se tloušťka vlákněných svazků při výrobě tlakem 0,2MPa zmenšila v některých případech oproti volné tkanině až o polovinu např. v 6. a 2.vrstvě. Největší úbytek je pozorován v 1.vrstvě u osnovy a také ve 3. vrstvě u útku. Menší úbytek je znatelný ve 4. vrstvě u osnovy a také v 5. a 3. vrstvě u osnovy. Naproti tomu je v útku nejmenší zmenšení v 1. a 2. vrstvě a největší zmenšení tedy ve 3. a 4.vrstvě.



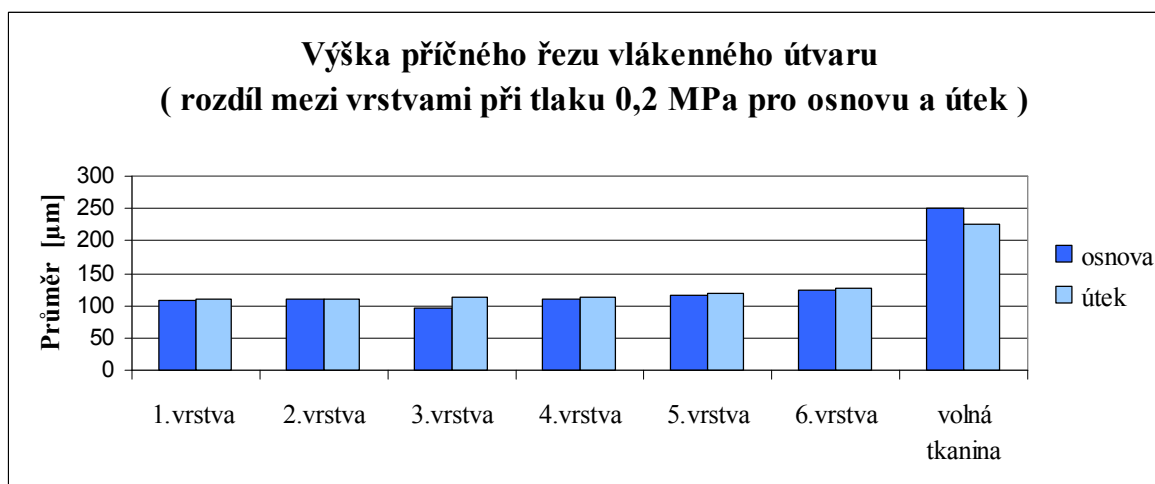
Obr. 38: Graf - tloušťka vlákněných svazků (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,5MPa)

Z obr. 38 výše je patrné, že se tloušťka vlákněných svazků při výrobě tlakem 0,5MPa zmenšila v některých případech oproti volné tkanině až o polovinu např. v 1., 4. a 6. vrstvě. Největší úbytek je pozorován ve 3. vrstvě u osnovy útku a také v 5. vrstvě především u útku a ve 2. vrstvě v útku. Menší úbytek je znatelný ve 4. vrstvě u osnovy i útku a také v 1. a 6. vrstvě u osnovy.



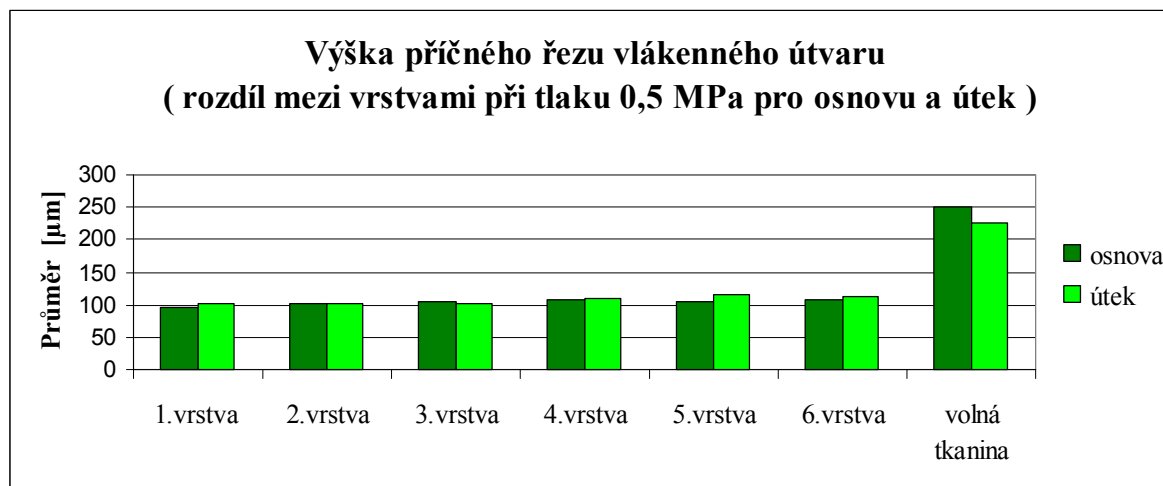
Obr. 39: Graf - tloušťka vlákněných svazků (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,8MPa)

Z obr. 39 výše je patrné, že se tloušťka vlákněných svazků při výrobě tlakem 0,8MPa zmenšila v některých případech oproti volné tkanině až o polovinu a méně. Největší úbytek je pozorován ve 2. vrstvě u osnovy a také v 5. a 6. vrstvě u osnovy i útku. Menší úbytek je znatelný ve 1. a 3. vrstvě u osnovy i útku a také ve 4. vrstvě u osnovy.



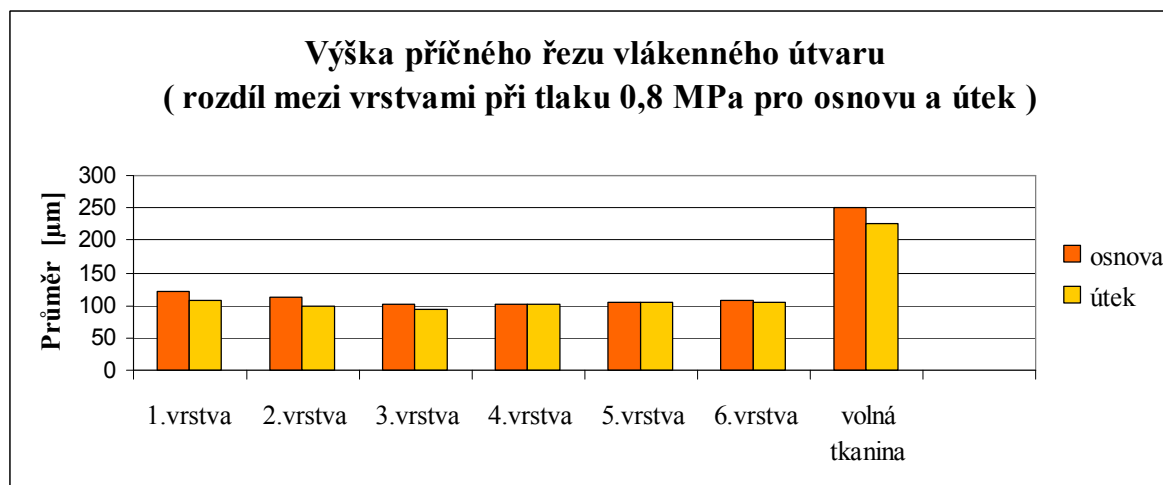
Obr. 40: Graf - výška příčného řezu vlákněného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa)

Z obr. 40 výše je patrné, že výška příčného řezu vláknenného útvaru při výrobě tlakem 0,2MPa se zmenšila v některých případech oproti volné tkanině až o polovinu, v některých vrstvách i o víc jak polovinu. Největší úbytek je pozorován ve 3.vrstvě u osnovy. Menší úbytek je znatelný v 5. a 6. vrstvě u osnovy i útku.



Obr. 41: Graf - výška příčného řezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,5MPa)

Z obr. 41 výše je patrné, že výška příčného řezu vláknenného útvaru při výrobě tlakem 0,5MPa se zmenšila ve všech případech oproti volné tkanině až o polovinu. Největší úbytek je pozorován v 2. a 3. vrstvě u osnovy i útku. Menší úbytek je znatelný v 5. a 6. vrstvě u osnovy i útku.

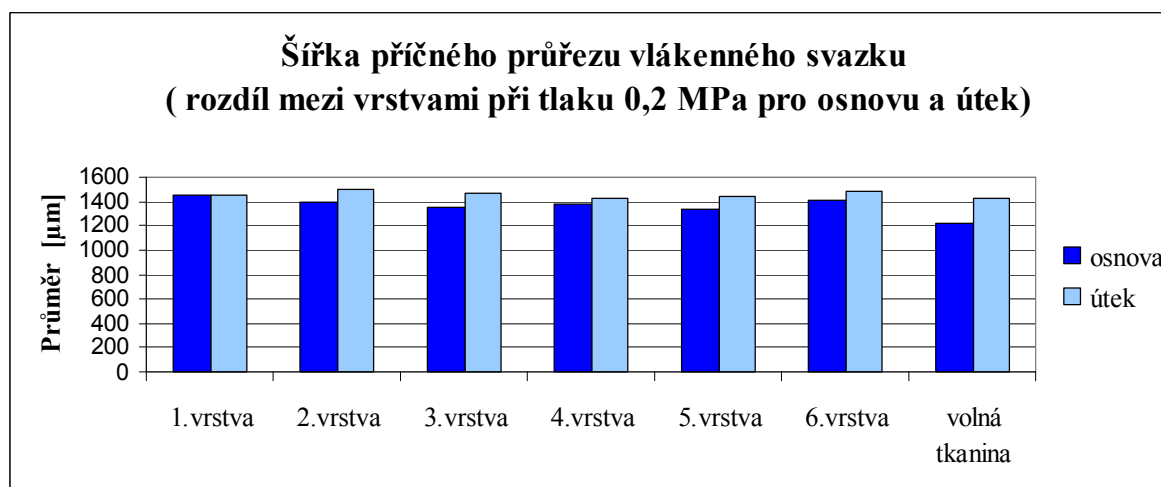


Obr. 42: Graf - výška příčného řezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,8MPa)

Z obr.42 výše je patrné, že výška příčného řezu vláknenného útvaru při výrobě tlakem 0,8MPa se zmenšila ve všech případech oproti volné tkanině až o polovinu.

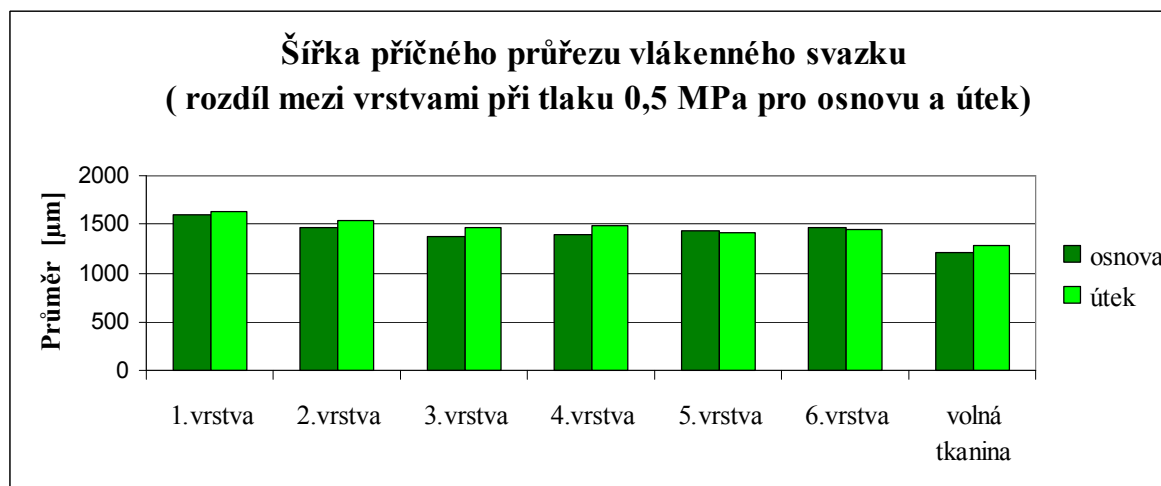


Největší úbytek je pozorován ve 3. vrstvě u útku. Menší úbytek je znatelný v 1. vrstvě u osnovy a útku a ve 2. vrstvě u osnovy.



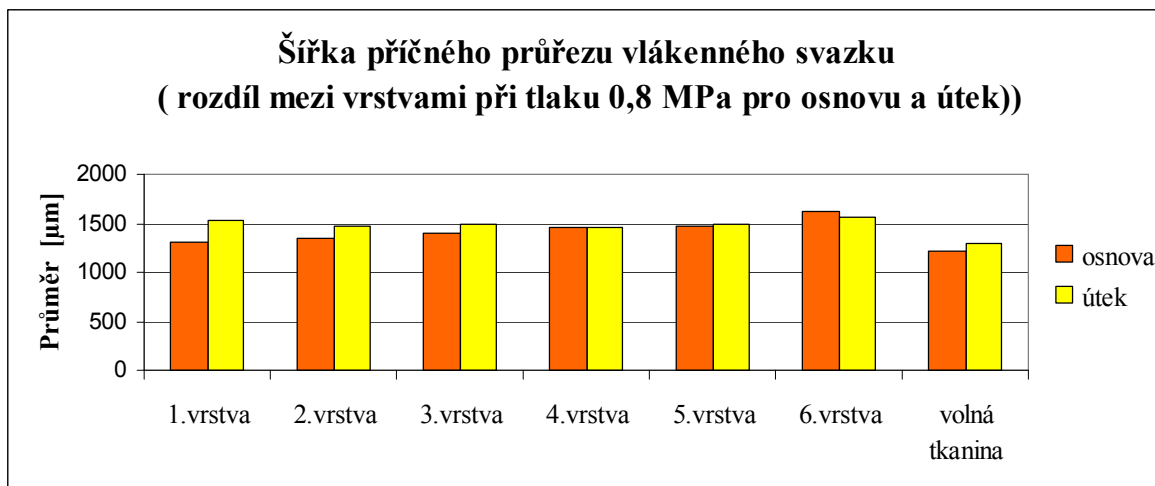
Obr. 43: Graf - šířka příčného řezu vlákenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa)

Z obr. 43 výše je patrné, že šířka příčného řezu vlákenného útvaru při výrobě tlakem 0,2MPa se zvětšila ve všech případech oproti volné tkanině. Největší přírůstek je pozorován v 1. vrstvě u osnovy a útku a ve 2., 3. a 6. vrstvě u útku. Menší přírůstek je znatelný ve 3. a v 5. vrstvě u osnovy.



Obr. 44: Graf - šířka příčného řezu vlákenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,5MPa)

Z obr. 44 výše je patrné, že šířka příčného řezu vlákenného útvaru při výrobě tlakem 0,5MPa se zvětšila ve všech případech oproti volné tkanině. Největší přírůstek je pozorován v 1. a 2. vrstvě u osnovy a útku a ve 3. a ve 4. vrstvě u útku. Menší přírůstek je znatelný ve 3. a ve 4. vrstvě u osnovy a také v 5. vrstvě u osnovy a útku.



Obr. 45: Graf - šířka příčného řezu vlákenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,8MPa)

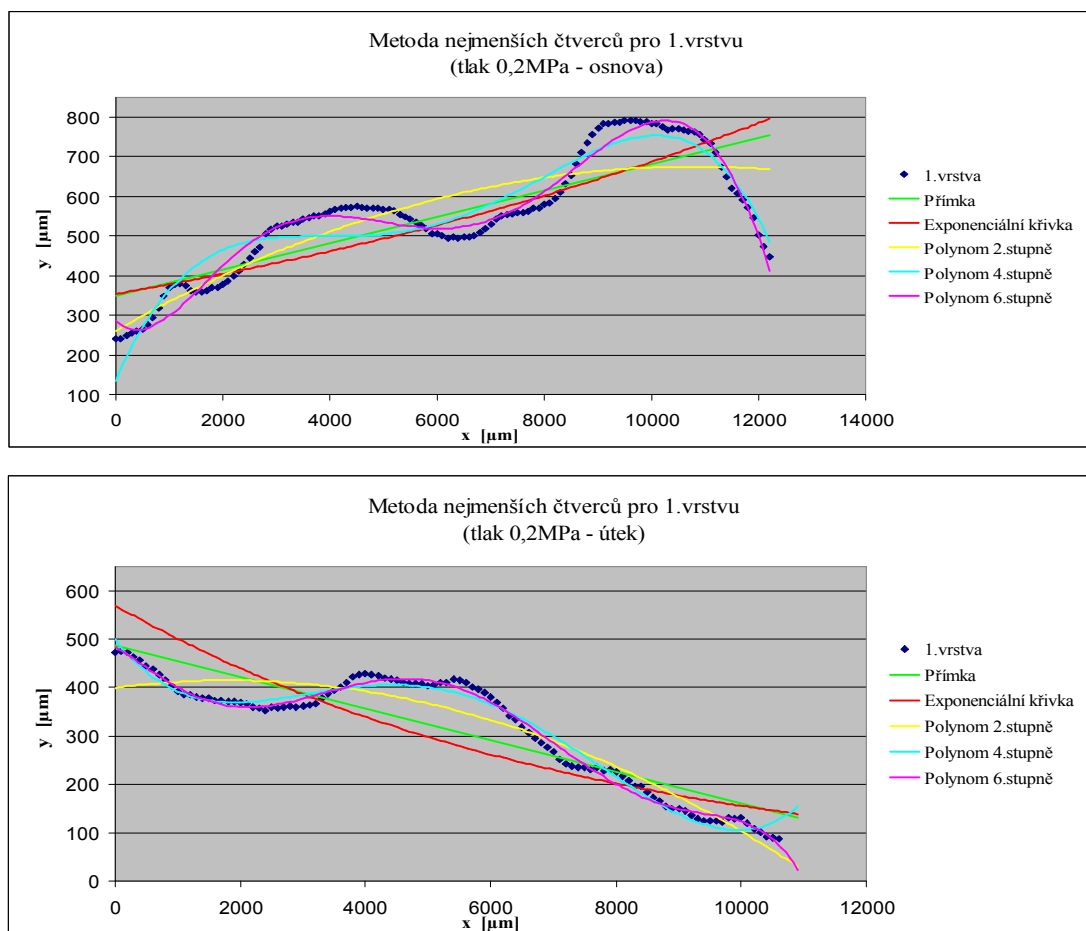
Z obr. 45 výše je patrné, že šířka příčného řezu vlákenného útvaru při výrobě tlakem 0,8MPa zvětšila ve všech případech oproti volné tkanině. Největší přírůstek je pozorován v 6. vrstvě u osnovy i útku. Menší přírůstek je znatelný v 1., 2. a ve 3. vrstvě u osnovy.

### 3.8 Matematický model geometrie výztuže

Jako matematický model geometrie výztuže byla zvolena metoda nejmenších čtverců. Původní data byla proložena (aproximována):

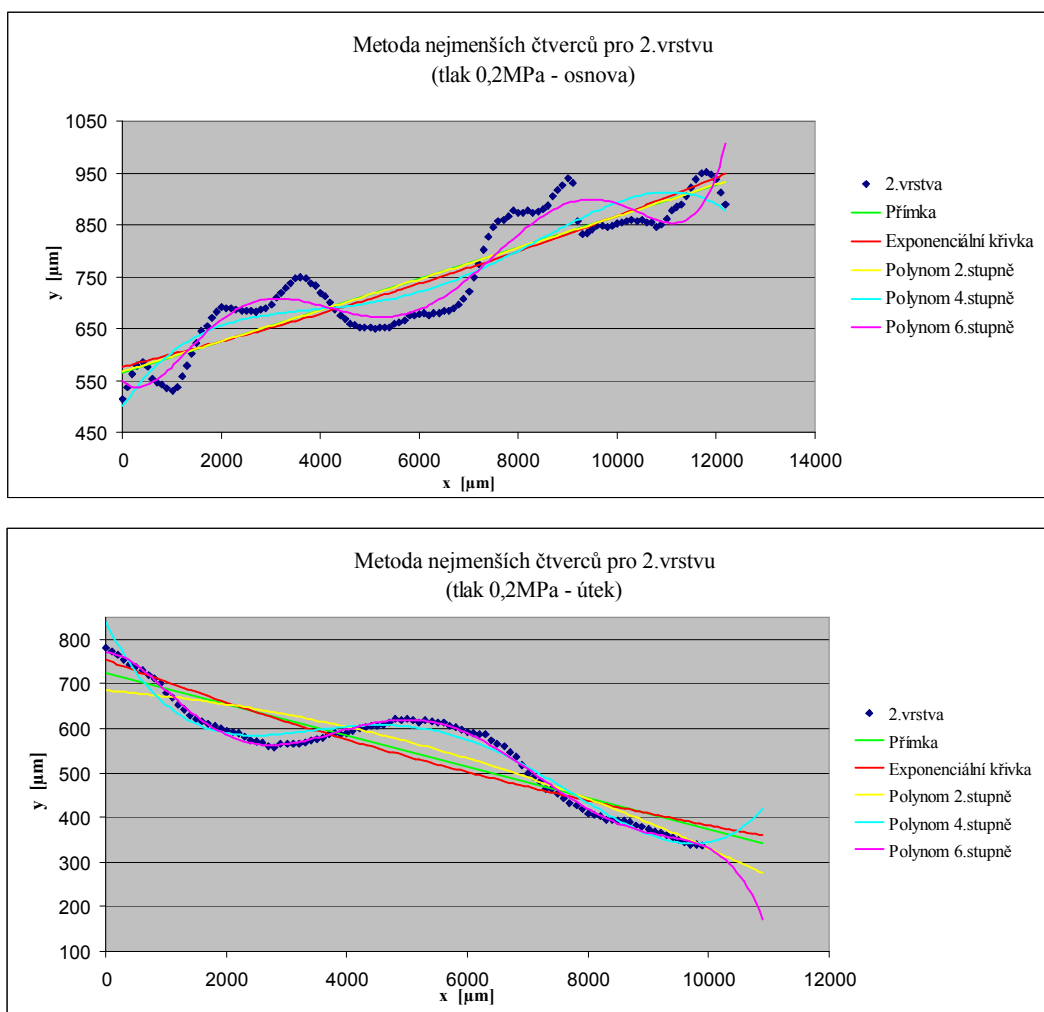
- přímkou ( $y = kx + q$ )
- exponenciální křivkou ( $y = e^x$ )
- polynomem 2. stupně ( $y = ax^2 + bx + c$ )
- polynomem 4. stupně ( $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$ )
- polynomem 6. stupně ( $y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g$ )

Tyto rovnice byly aplikovány na každou vrstvu tkaninového kompozitu u osnovy a útku, pro tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa a byly vykresleny v grafech níže. Podle hodnoty spolehlivosti a sumy odchylek byla vybrána matematická funkce. Ke každé vrstvě je uvedena v tabulkách níže: rovnice funkce, hodnoty spolehlivosti, suma odchylek. Pro hodnotu spolehlivosti platí: čím je číslo blíže k jedničce, tím víc se regrese přibližuje k původním datům. U sumy odchylek naopak platí: čím menší je číslo, tím se funkce přibližuje k původním datům.



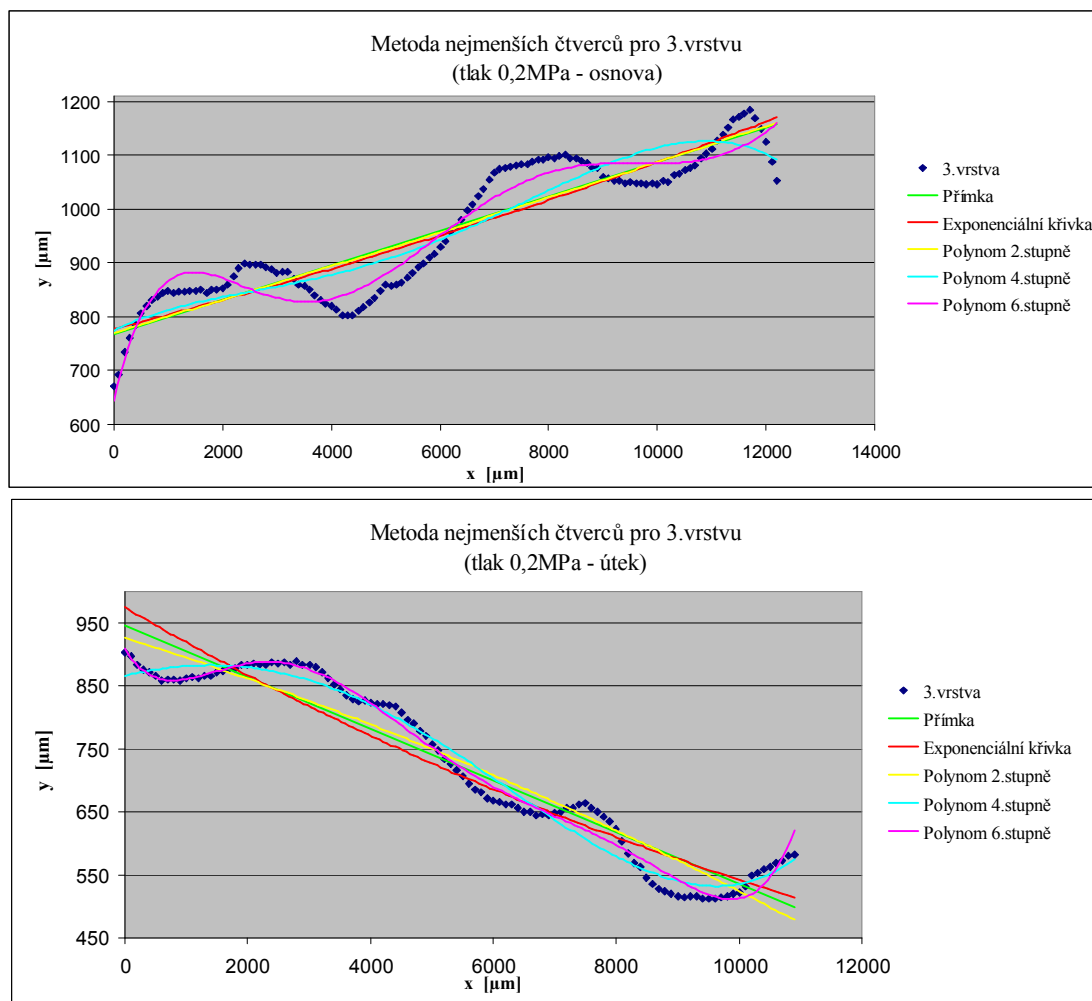
Obr. 46: Grafy - metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

Tab. 22: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 1.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek [μm]
Přímka	$y = 0,0333x + 348,84$	0,6586	8484,060
Exponenciální křivka	$y = 354,06e^{7E-05 \cdot x}$	0,6545	8800,902
Polynom 2. stupně	$y = -4E-06x^2 + 0,0767x + 261,4$	0,7342	7995,830
Polynom 4. stupně	$y = -5E-13x^4 + 1E-08x^3 - 1E-04x^2 + 0,3118x + 134,79$	0,8875	6148,582
Polynom 6. stupně	$y = 1E-20x^6 - 6E-16x^5 + 9E-12x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,1299x + 286,63$	0,9639	4842,261
Útek			
Přímka	$y = -0,0324x + 485,43$	0,7757	4939,245
Exponenciální křivka	$y = 570,01e^{-0,0001x}$	0,7451	7350,091
Polynom 2. stupně	$y = -5E-06x^2 + 0,0168x + 399,33$	0,8972	3633,775
Polynom 4. stupně	$y = 5E-13x^4 - 1E-08x^3 + 7E-05x^2 - 0,1698x + 500,13$	0,9767	2675,334
Polynom 6. stupně	$y = -3E-20x^6 + 8E-16x^5 - 8E-12x^4 + 3E-08x^3 - 3E-05x^2 - 0,0775x + 484,58$	0,9898	2236,569



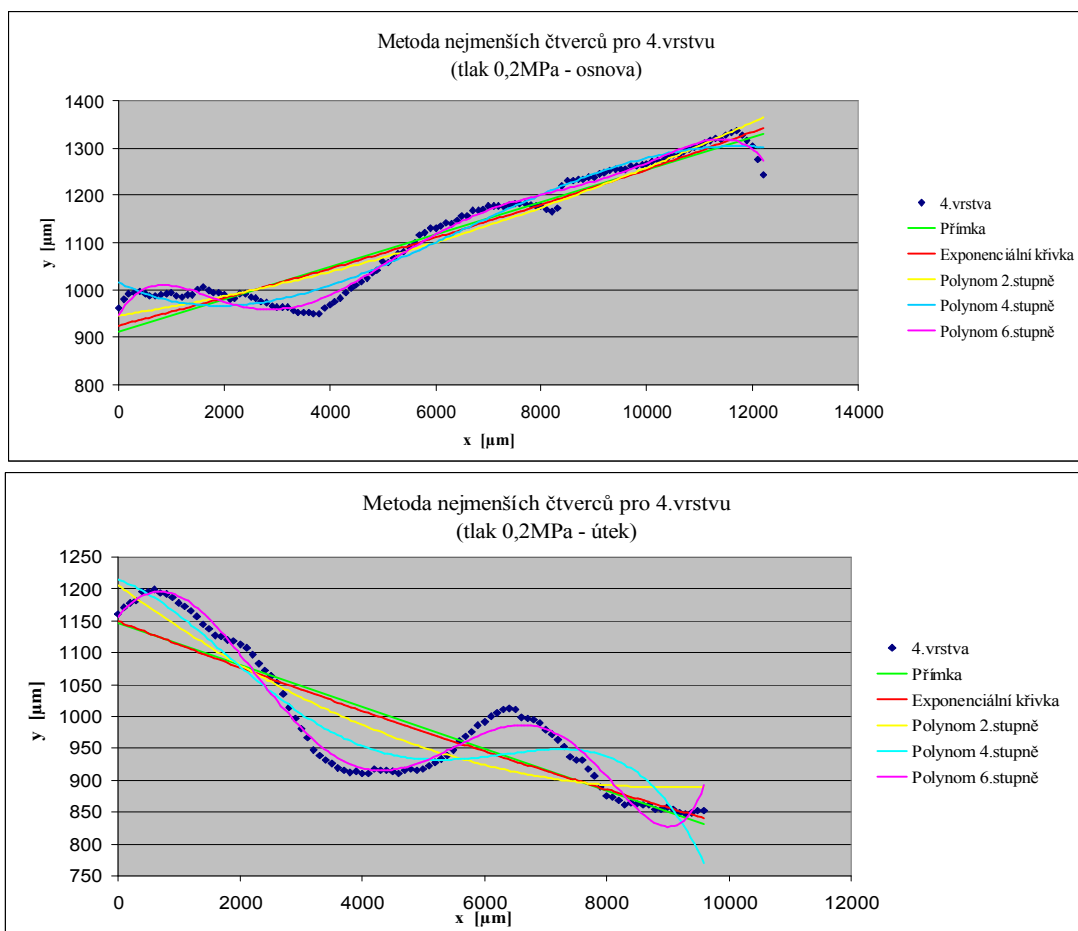
Obr. 47: Graf y- metoda nejmenších čtverců pro 2. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

Tab. 23: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 2.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek[μm]
Přímka	$y = 0,03x + 565,75$	0,8121	5527,875
Exponenciální křivka	$y = 576,58e^{4E-05x}$	0,8049	5512,033
Polynom 2. stupně	$y = 6E-08x^2 + 0,0293x + 567,19$	0,8121	5527,875
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0,1379x + 501,38$	0,8471	4376,239
Polynom 6. stupně	$y = 3E-20x^6 - 1E-15x^5 + 1E-11x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,0877x + 549,46$	0,9202	3978,457
Útek			
Přímka	$y = -0,0351x + 725,25$	0,8092	4382,095
Exponenciální křivka	$y = 754,33e^{-7E-05x}$	0,7955	4560,146
Polynom 2. stupně	$y = -3E-06x^2 - 0,0102x + 684,62$	0,8368	3587,735
Polynom 4. stupně	$y = 6E-13x^4 - 1E-08x^3 + 1E-04x^2 - 0,2703x + 838,08$	0,9738	2498,032
Polynom 6. stupně	$y = -4E-20x^6 + 1E-15x^5 - 2E-11x^4 + 8E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,0077x + 769,28$	0,9962	1087,986



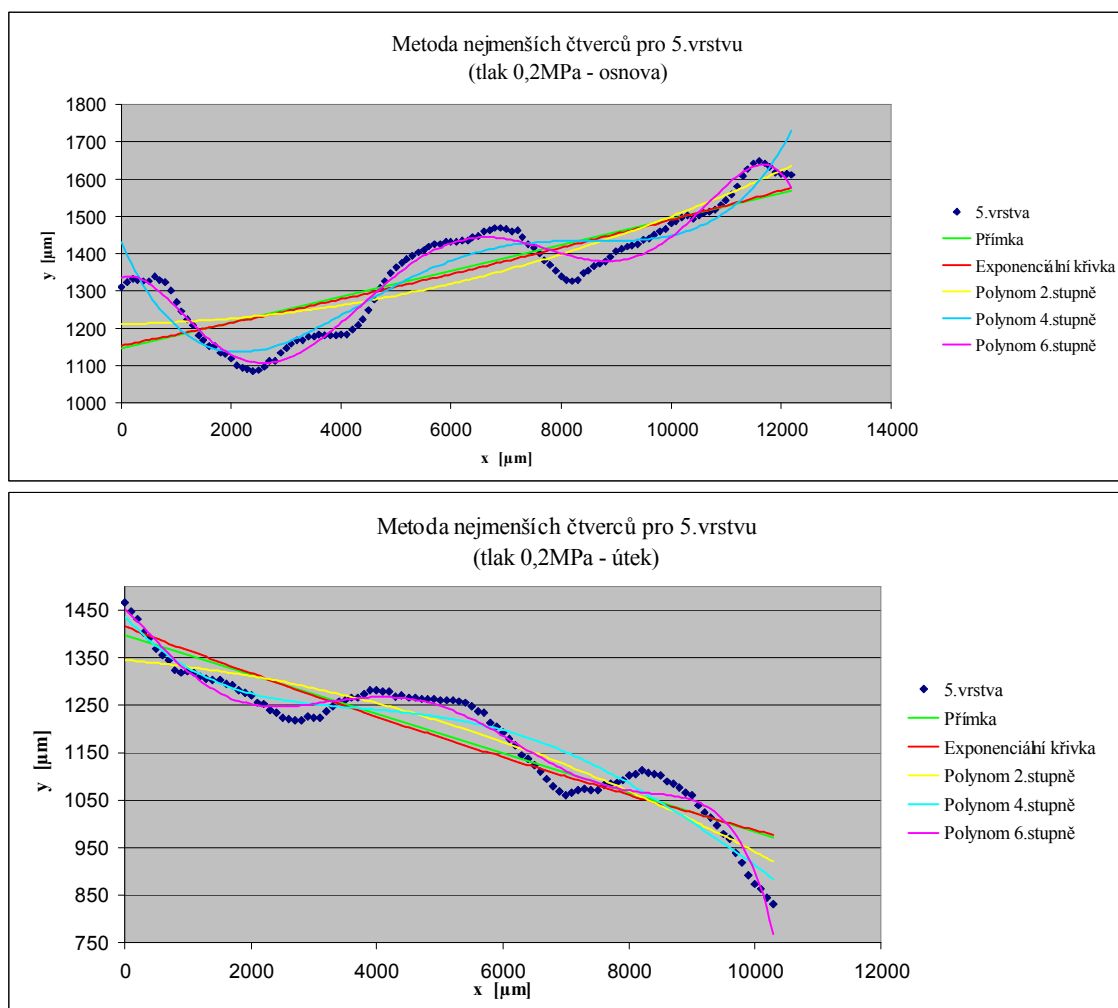
Obr. 48: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 3. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

Tab. 24: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 3.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = 0,032x + 766,29$	0,8284	5477,155
Exponenciální křivka	$y = 776,66e^{3E-05x}$	0,8199	6007,245
Polynom 2. stupně	$y = 1E-07x^2 + 0,0302x + 769,84$	0,8286	5447,246
Polynom 4. stupně	$y = -1E-13x^4 + 2E-09x^3 - 1E-05x^2 + 0,0489x + 773,91$	0,8512	4653,586
Polynom 6. stupně	$y = -1E-20x^6 + 5E-16x^5 - 8E-12x^4 + 7E-08x^3 - 0,0003x^2 + 0,4232x + 643,92$	0,9309	2987,423
Útek			
Přímka	$y = -0,041x + 944,9$	0,9152	3865,255
Exponenciální křivka	$y = 974,34e^{-6E-05x}$	0,9026	4225,840
Polynom 2. stupně	$y = -1E-06x^2 - 0,0303x + 925,62$	0,9194	3695,325
Polynom 4. stupně	$y = 1E-13x^4 - 9E-10x^3 - 6E-06x^2 + 0,0218x + 866,5$	0,9737	2965,875
Polynom 6. stupně	$y = 3E-20x^6 - 9E-16x^5 + 1E-11x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,1608x + 909,02$	0,9857	2065,821



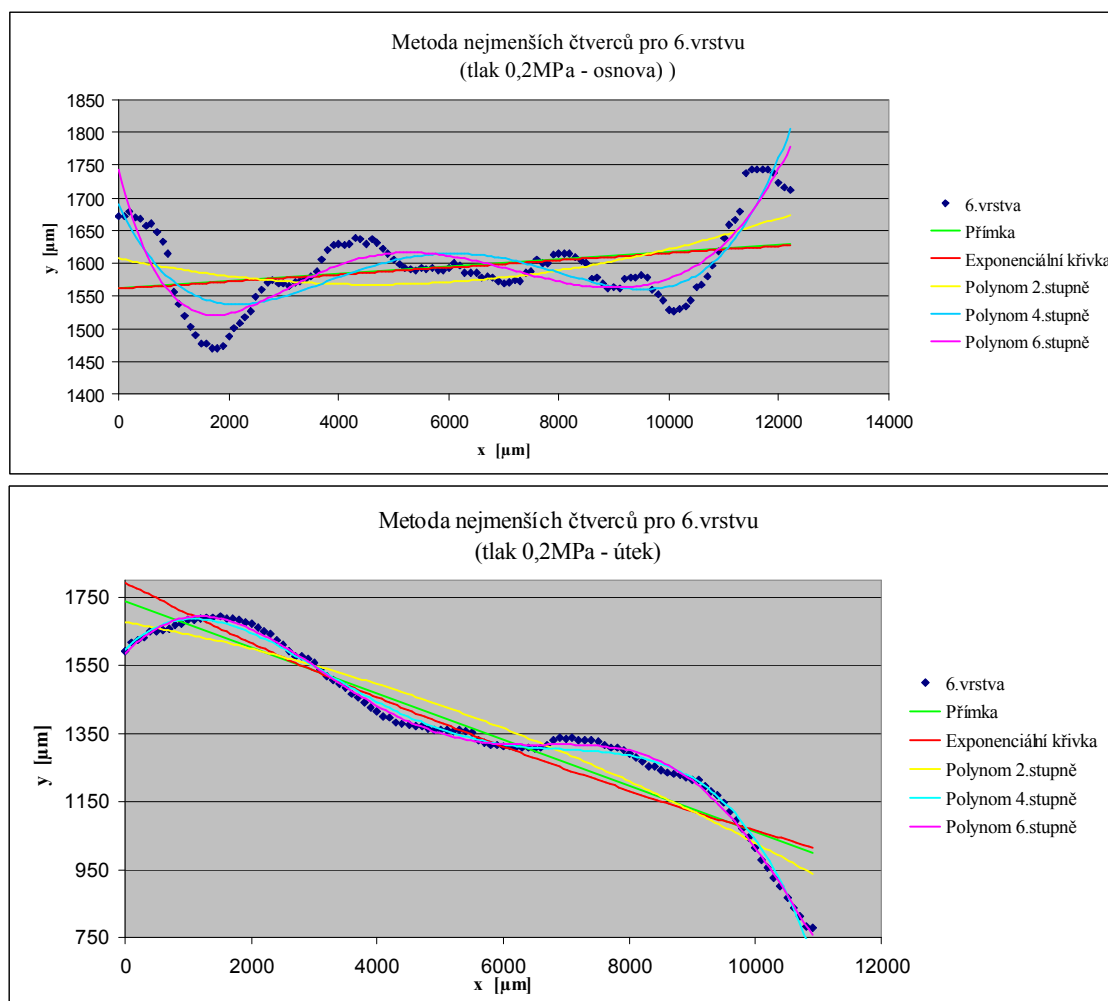
Obr. 49 : Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 4. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

<b>Tab. 25:</b> Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 4.vrstva			
<b>Osnova</b>	<b>Rovnice funkce</b>	<b>Hodnota spolehlivosti</b>	<b>Suma odchylek</b>
Přímka	$y = 0,0343x + 912,52$	0,9109	3704,285
Exponenciální křivka	$y = 925,36e^{3E-05x}$	0,9056	3774,096
Polynom 2. stupně	$y = 1E-06x^2 + 0,0175x + 946,3$	0,9256	3459,275
Polynom 4. stupně	$y = 1E-14x^4 - 1E-09x^3 + 2E-05x^2 - 0,0556x + 1016,5$	0,9687	2765,145
Polynom 6. stupně	$y = -2E-20x^6 + 6E-16x^5 - 8E-12x^4 + 6E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,1805x + 947,17$	0,9875	2078,792
<b>Útek</b>			
Přímka	$y = -0,033x + 1146,6$	0,7252	4542,195
Exponenciální křivka	$y = 1149,2e^{-3E-05x}$	0,7300	4638,208
Polynom 2. stupně	$y = 4E-06x^2 - 0,0706x + 1206,1$	0,7894	4239,075
Polynom 4. stupně	$y = -5E-13x^4 + 8E-09x^3 - 3E-05x^2 - 0,0311x + 1214,5$	0,8818	3752,361
Polynom 6. stupně	$y = 4E-20x^6 - 9E-16x^5 + 6E-12x^4 + 3E-09x^3 - 1E-04x^2 + 0,1225x + 1154,9$	0,9788	1904,826



Obr.50: Grafy - metoda nejmenších čtverců pro 5. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

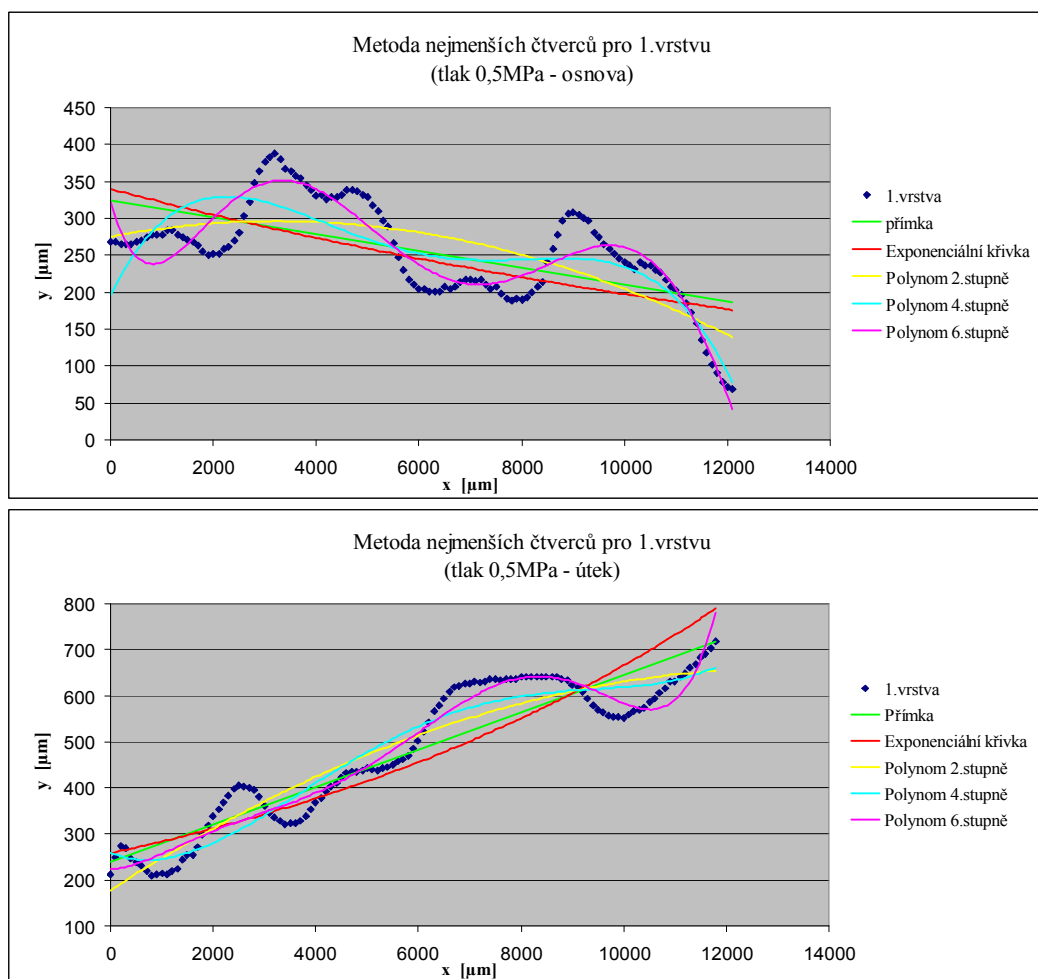
Tab. 26: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 5.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = 0,0348x + 1144,4$	0,6800	8940,620
Exponenciální křivka	$y = 1152,6e^{3E-05x}$	0,6615	10014,540
Polynom 2. stupně	$y = 3E-06x^2 + 0,0017x + 1211$	0,7217	9089,160
Polynom 4. stupně	$y = 5E-13x^4 - 1E-08x^3 + 0,0001x^2 - 0,3265x + 1429,7$	0,8912	4279,369
Polynom 6. stupně	$y = -4E-20x^6 + 1E-15x^5 - 2E-11x^4 + 1E-07x^3 - 0,0002x^2 + 0,0644x + 133$	0,9699	2895,215
Útek			
Přímka	$y = -0,0413x + 1396,5$	0,8514	4465,330
Exponenciální křivka	$y = 1415,5e^{-4E-05x}$	0,8255	5475,841
Polynom 2. stupně	$y = -3E-06x^2 - 0,011x + 1345$	0,8826	4044,090
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 5E-09x^3 + 4E-05x^2 - 0,1431x + 1435,9$	0,9235	3542,418
Polynom 6. stupně	$y = -5E-20x^6 + 1E-15x^5 - 1E-11x^4 + 5E-08x^3 - 4E-05x^2 - 0,1269x + 1453,1$	0,9704	2648,921



Obr.51: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 6. vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek)

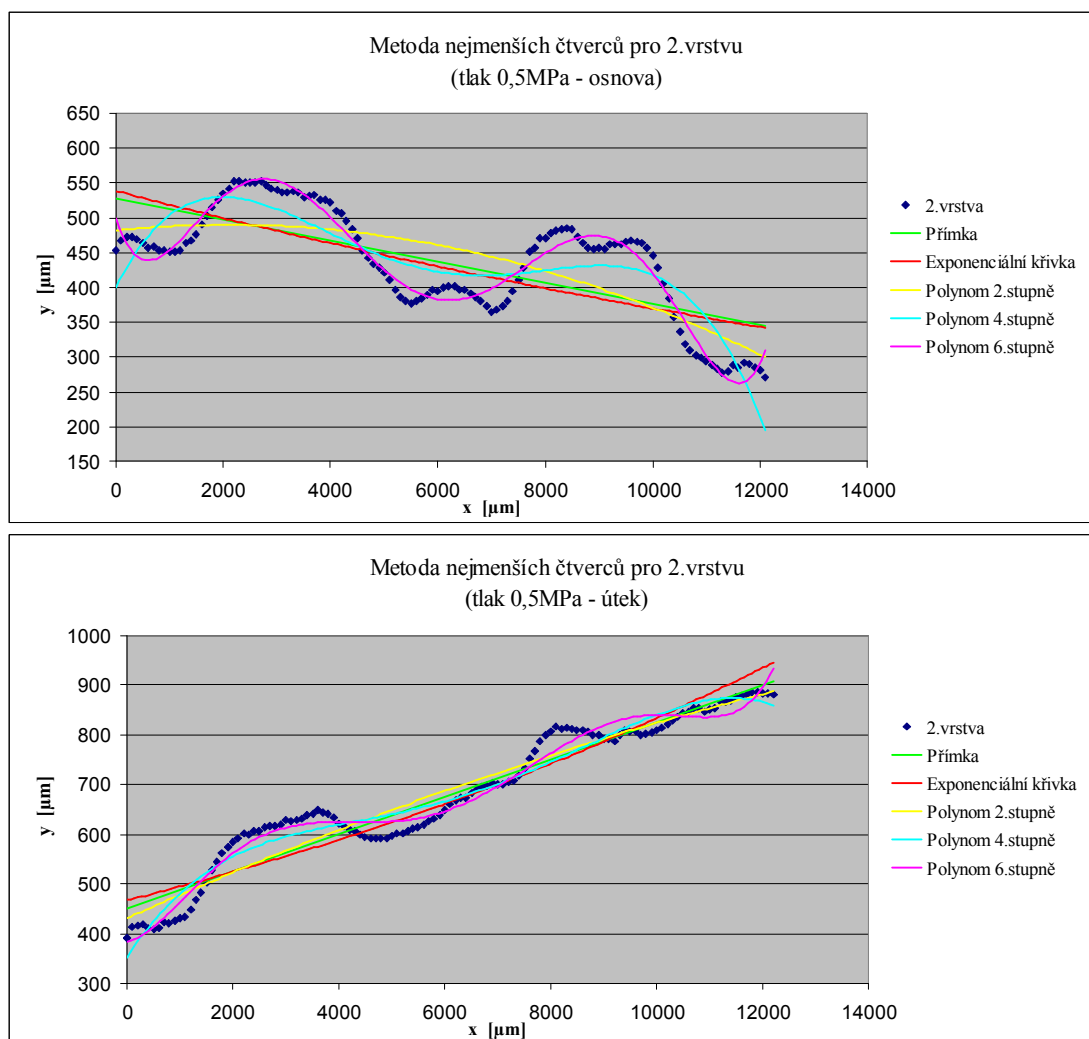
Tab. 27: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 6.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = 0,0055x + 1561,6$	0,1074	5337,190
Exponenciální křivka	$y = 1561,1e^{3E-06x}$	0,1071	5279,569
Polynom 2. stupně	$y = 2E-06x^2 - 0,0171x + 1607,3$	0,2302	27063,480
Polynom 4. stupně	$y = 4E-13x^4 - 8E-09x^3 + 6E-05x^2 - 0,1742x + 1689,7$	0,6718	2054,218
Polynom 6. stupně	$y = 4E-21x^6 - 2E-16x^5 + 4E-12x^4 - 4E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,3319x + 1744,1$	0,7317	1358,982
Útek			
Přímka	$y = -0,0678x + 1739,4$	0,8954	6527,465
Exponenciální křivka	$y = 1792,4e^{-5E-05x}$	0,8401	6741,749
Polynom 2. stupně	$y = -3E-06x^2 - 0,0327x + 1676,3$	0,9117	6534,345
Polynom 4. stupně	$y = -8E-13x^4 + 2E-08x^3 - 0,0001x^2 + 0,1811x + 1596,1$	0,9934	4762,732
Polynom 6. stupně	$y = 1E-20x^6 - 4E-16x^5 + 3E-12x^4 + 3E-09x^3 - 9E-05x^2 + 0,1956x + 1582,2$	0,9971	4056,612





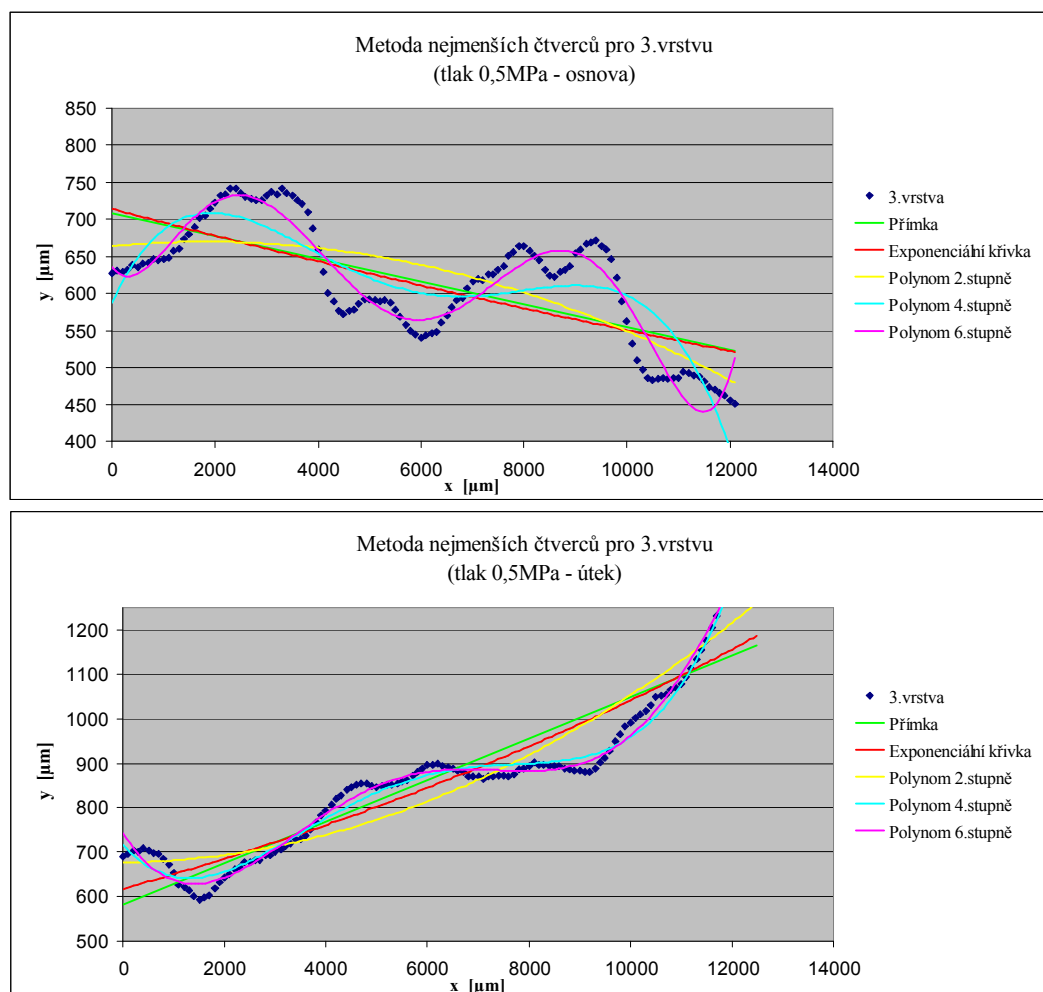
Obr.52: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

Tab. 28: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 1.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0113x + 323,51$	0,3581	5621,020
Exponenciální křivka	$y = 339,58e^{-5E-05x}$	0,360	5827,464
Polynom 2. stupně	$y = -2E-06x^2 + 0,0129x + 275,16$	0,4699	5080,700
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 6E-09x^3 - 5E-05x^2 + 0,1431x + 195,64$	0,621	3182,360
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 6E-16x^5 + 1E-11x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,2411x + 321,83$	0,8448	1935,531
Útek			
Přímka	$y = 0,0404x + 239,93$	0,858	5627,875
Exponenciální křivka	$y = 257,92e^{9E-05x}$	0,8313	7146,817
Polynom 2. stupně	$y = -3E-06x^2 + 0,0725x + 177,36$	0,8947	5398,995
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 4E-09x^3 + 4E-05x^2 - 0,0436x + 258,47$	0,9157	3276,176
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 5E-16x^5 + 5E-12x^4 - 2E-08x^3 + 5E-05x^2 + 0,0003x + 223,56$	0,9557	2574,351



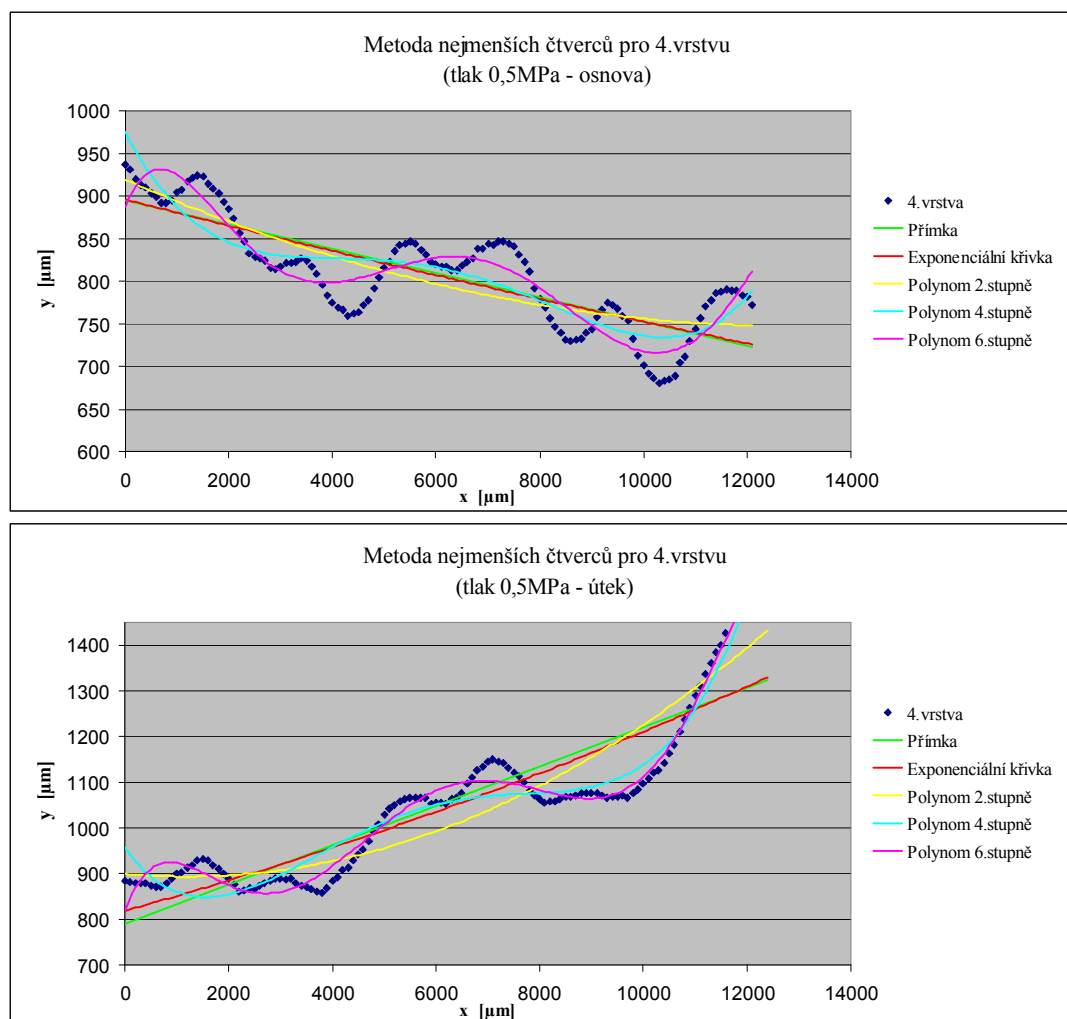
Obr.53: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 2. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

Tab. 29: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 2.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,015x + 527,38$	0,4702	6423,450
Exponenciální křivka	$y = 538,5e^{-4E-05x}$	0,4782	6489,555
Polynom 2. stupně	$y = -2E-06x^2 + 0,008x + 481,44$	0,5447	5684,810
Polynom 4. stupně	$y = -3E-13x^4 + 8E-09x^3 - 6E-05x^2 + 0,157x + 399,26$	0,7406	3756,932
Polynom 6. stupně	$y = 4E-20x^6 - 1E-15x^5 + 2E-11x^4 - 1E-07x^3 + 0,0003x^2 - 0,2299x + 499,52$	0,9509	1056,098
Útek			
Přímka	$y = 0,0374x + 452,1$	0,9257	3792,710
Exponenciální křivka	$y = 467,32e^{6E-05x}$	0,8838	4920,882
Polynom 2. stupně	$y = -8E-07x^2 + 0,0477x + 431,26$	0,9305	3719,604
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0,1635x + 353,05$	0,9551	3045,264
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 6E-16x^5 + 8E-12x^4 - 4E-08x^3 + 9E-05x^2 + 0,0249x + 383,28$	0,9737	2458,677



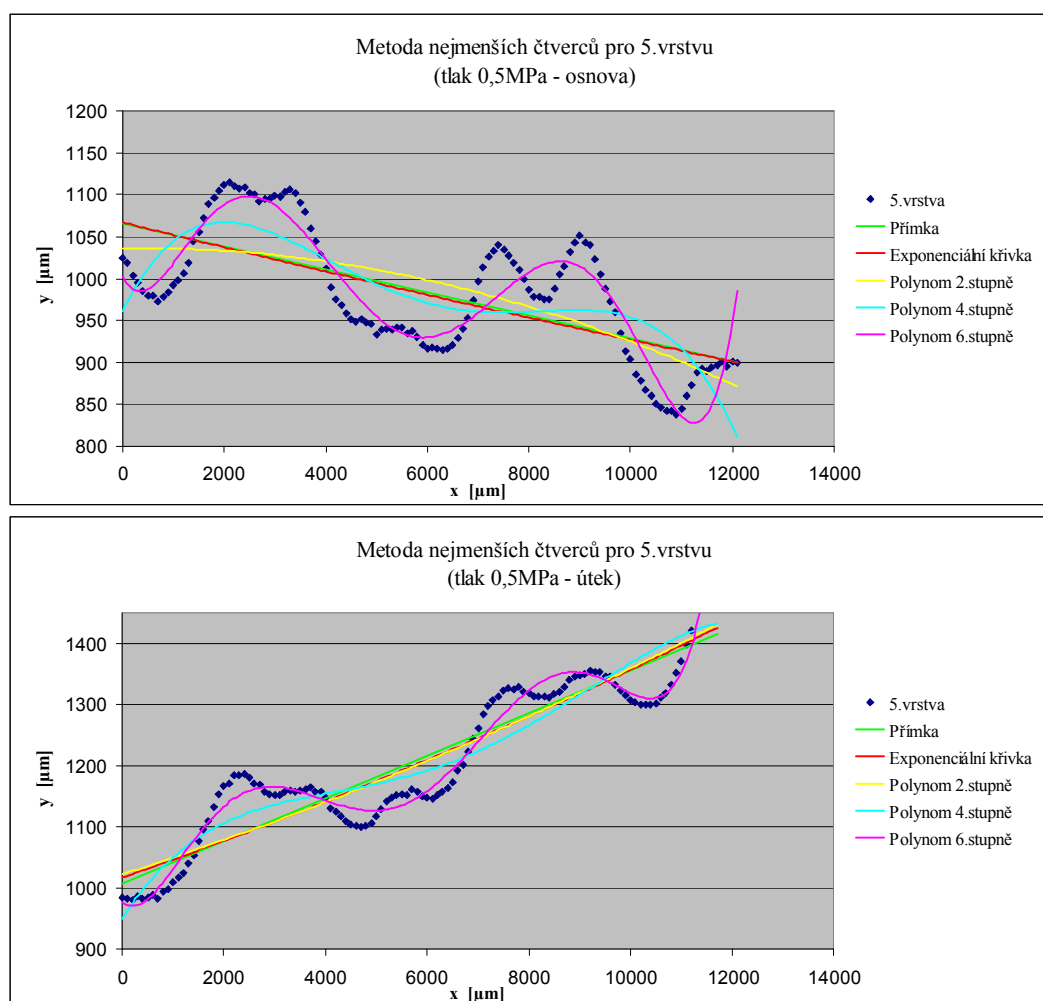
Obr. 54: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 3. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

Tab. 30: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 3. vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0153x + 707,89$	0,4579	6628,895
Exponenciální křivka	$y = 714,27e^{-3E-05x}$	0,4698	6638,945
Polynom 2. stupně	$y = -2E-06x^2 + 0,0066x + 664,05$	0,5216	5784,385
Polynom 4. stupně	$y = -3E-13x^4 + 8E-09x^3 - 6E-05x^2 + 0,1496x + 587,28$	0,7054	4053,872
Polynom 6. stupně	$y = 3E-20x^6 - 1E-15x^5 + 1E-11x^4 - 8E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,0879x + 635,64$	0,9041	2145,765
Útek			
Přímka	$y = 0,0468x + 581,96$	0,8270	7399,680
Exponenciální křivka	$y = 617,22e^{5E-05x}$	0,8717	6771,667
Polynom 2. stupně	$y = 4E-06x^2 + 0,0009x + 676,79$	0,8810	6349,440
Polynom 4. stupně	$y = 4E-13x^4 - 9E-09x^3 + 7E-05x^2 - 0,1281x + 716,22$	0,9861	3652,312
Polynom 6. stupně	$y = -3E-21x^6 + 9E-17x^5 - 3E-13x^4 - 9E-09x^3 + 9E-05x^2 - 0,1823x + 742,83$	0,9915	3076,662



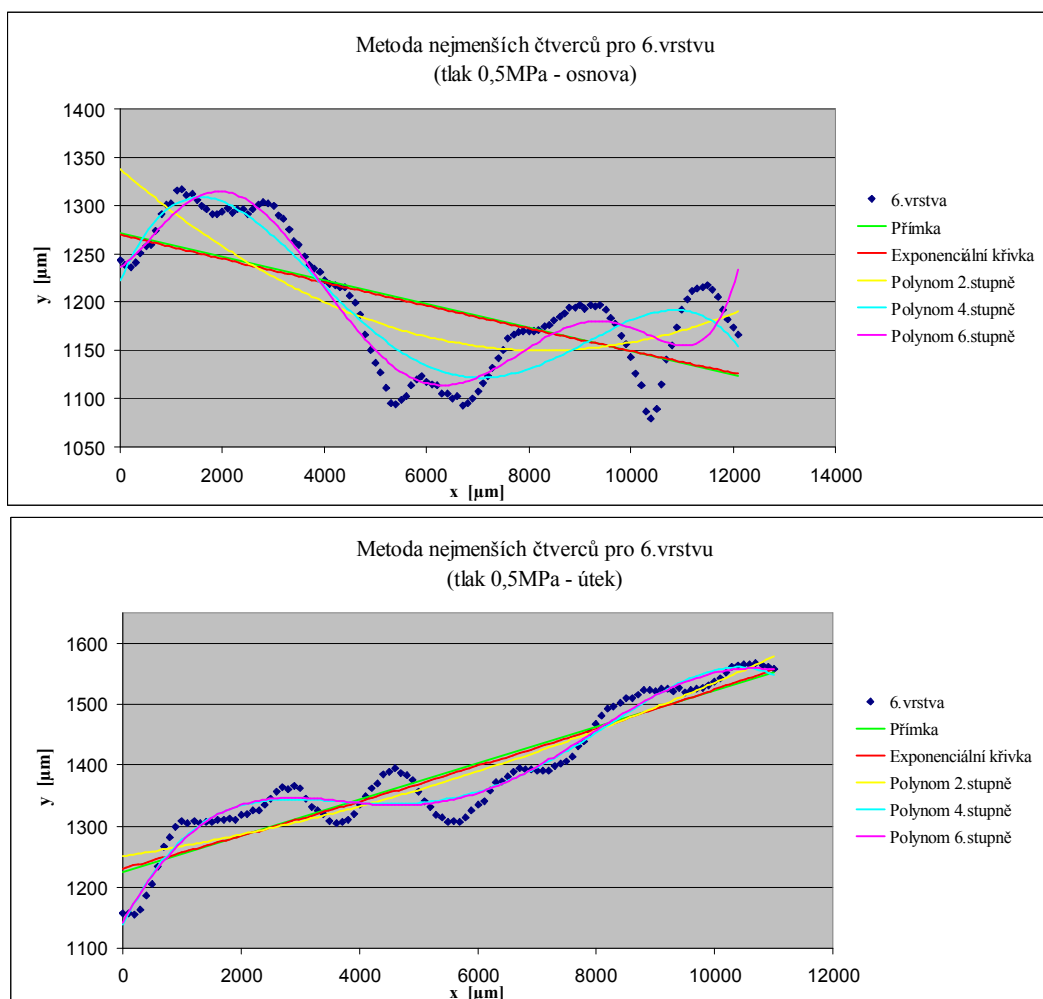
Obr. 55: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 4. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

<b>Tab. 31: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 4.vrstva</b>			
<b>Osnova</b>	<b>Rovnice funkce</b>	<b>Hodnota spolehlivosti</b>	<b>Suma odchylek</b>
Přímka	$y = -0,0141x + 894,04$	0,6314	4024,660
Exponenciální křivka	$y = 895,66e^{-2E-05x}$	0,6223	4231,447
Polynom 2. stupně	$y = 1E-06x^2 - 0,0265x + 918,82$	0,6643	3904,220
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 4E-09x^3 + 3E-05x^2 - 0,1168x + 974,32$	0,7444	3056,237
Polynom 6. stupně	$y = -1E-20x^6 + 5E-16x^5 - 7E-12x^4 + 5E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,1501x + 887,04$	0,8627	2134,821
<b>Útek</b>			
Přímka	$y = 0,043x + 790,43$	0,7640	8598,200
Exponenciální křivka	$y = 818,45e^{4E-05x}$	0,8081	8156,564
Polynom 2. stupně	$y = 4E-06x^2 - 0,01x + 899,05$	0,8427	7384,350
Polynom 4. stupně	$y = 4E-13x^4 - 1E-08x^3 + 7E-05x^2 - 0,1588x + 956,66$	0,9462	3956,726
Polynom 6. stupně	$y = -3E-20x^6 + 1E-15x^5 - 1E-11x^4 + 1E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,3011x + 817,69$	0,9834	2783,889



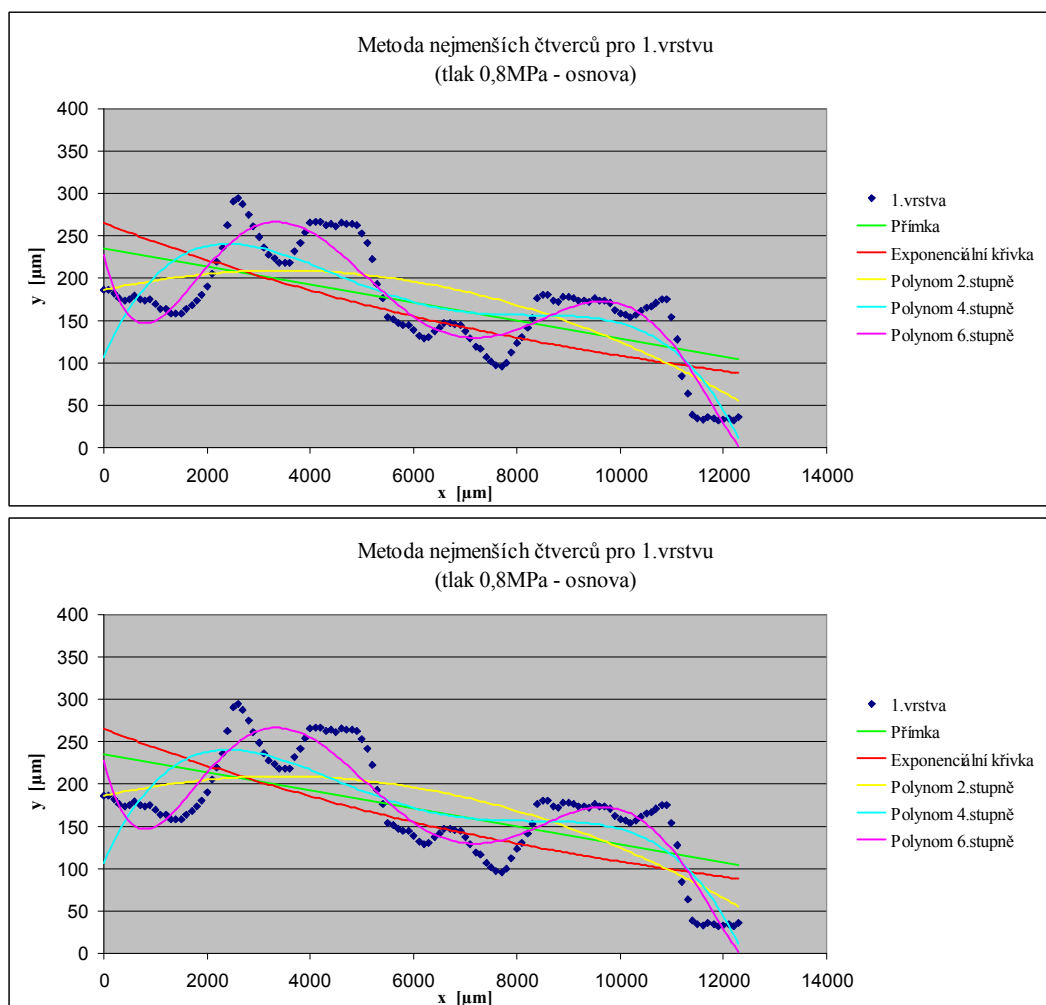
Obr. 56: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 5. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

Tab. 32: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 5. vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0136x + 1065,2$	0,4102	6353,705
Exponenciální křivka	$y = 1066,8e^{-1E-05x}$	0,4175	6906,666
Polynom 2. stupně	$y = -1E-06x^2 + 0,0008x + 1036,3$	0,4415	6201,855
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 6E-09x^3 - 5E-05x^2 + 0,1246x + 961,01$	0,5494	5457,892
Polynom 6. stupně	$y = 4E-20x^6 - 1E-15x^5 + 2E-11x^4 - 9E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,1053x + 1001,5$	0,8637	3134,652
Útek			
Přímka	$y = 0,0349x + 1006,9$	0,8420	5340,331
Exponenciální křivka	$y = 1016,9e^{3E-05x}$	0,8439	5293,267
Polynom 2. stupně	$y = 7E-07x^2 + 0,0267x + 1022,7$	0,8451	5268,490
Polynom 4. stupně	$y = -1E-13x^4 + 4E-09x^3 - 3E-05x^2 + 0,1282x + 950,34$	0,8679	5012,553
Polynom 6. stupně	$y = 4E-20x^6 - 1E-15x^5 + 2E-11x^4 - 9E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,0647x + 976,27$	0,9769	2167,738



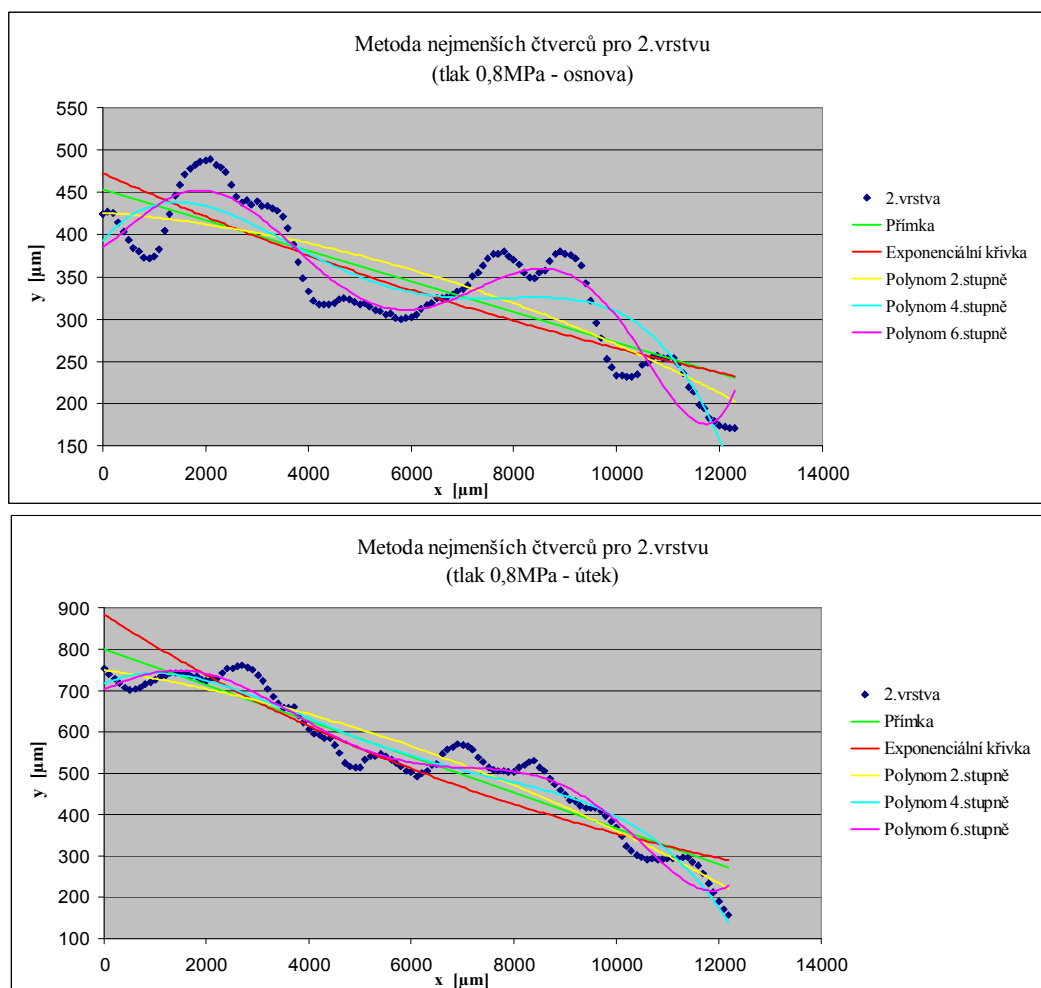
Obr. 57: Metoda nejmenších čtverců pro 6. vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek)

Tab. 33: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 6.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0122x + 1271$	0,3857	5526,190
Exponenciální křivka	$y = 1269,8e^{-1E-05x}$	0,3727	5508,472
Polynom 2. stupně	$y = 3E-06x^2 - 0,0453x + 1337,4$	0,5801	4774,530
Polynom 4. stupně	$y = -3E-13x^4 + 7E-09x^3 - 5E-05x^2 + 0,1245x + 1222,1$	0,7894	2745,166
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 5E-16x^5 + 7E-12x^4 - 3E-08x^3 + 5E-05x^2 + 0,033x + 1236,4$	0,8659	1876,992
Útek			
Přímka	$y = 0,0298x + 1224,3$	0,8532	3828,920
Exponenciální křivka	$y = 1230,5e^{2E-05x}$	0,8473	4130,241
Polynom 2. stupně	$y = 1E-06x^2 + 0,0151x + 1251,1$	0,8674	3228,920
Polynom 4. stupně	$y = -4E-13x^4 + 9E-09x^3 - 7E-05x^2 + 0,1975x + 1137,7$	0,9574	2457,337
Polynom 6. stupně	$y = 4E-21x^6 - 1E-16x^5 + 1E-12x^4 - 7E-10x^3 - 4E-05x^2 + 0,1735x + 1142,8$	0,9580	2256,114



Obr. 58: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

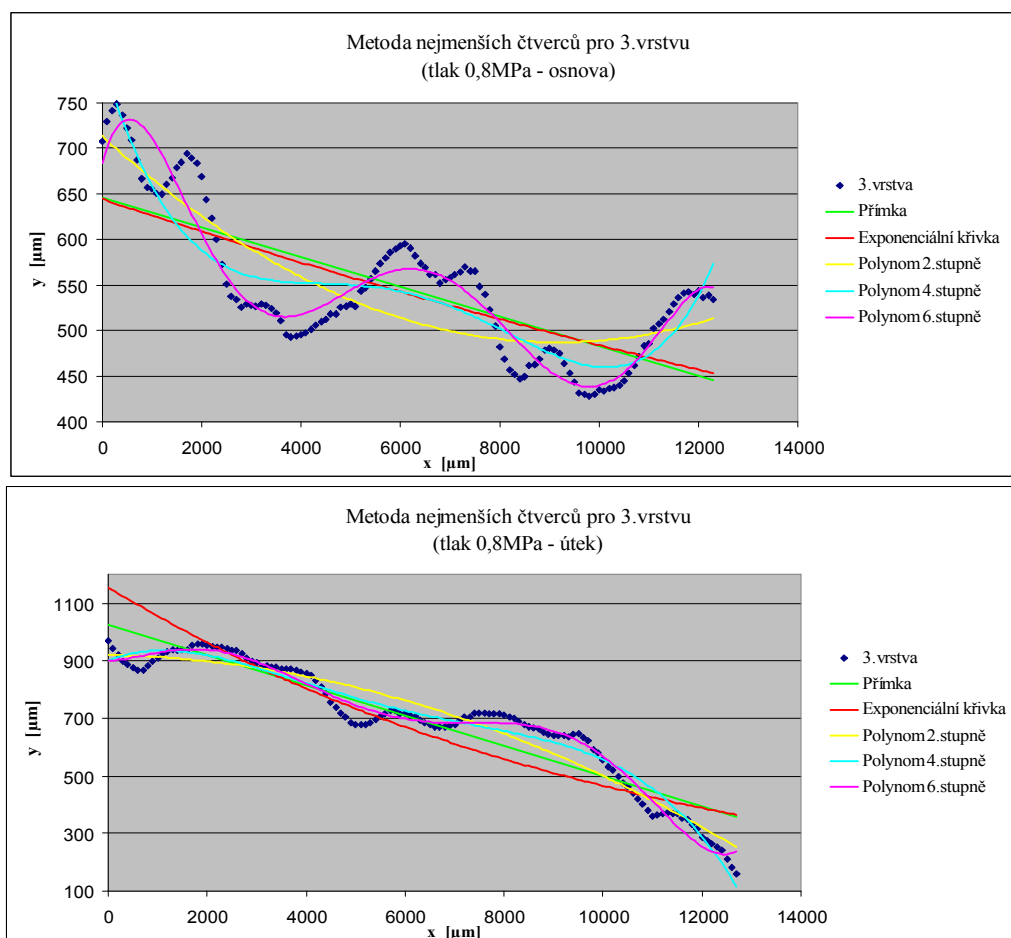
Tab. 34: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 1.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0106x + 234,75$	0,3699	5593,495
Exponenciální křivka	$y = 265,19e^{-9E-05x}$	0,379	6083,161
Polynom 2. stupně	$y = -2E-06x^2 + 0,0134x + 185,94$	0,4982	4912,915
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0,134x + 107,57$	0,6364	3575,881
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 7E-16x^5 + 1E-11x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,2412x + 228,29$	0,8478	2065,854
Útek			
Přímka	$y = -0,0478x + 653,12$	0,9104	4685,645
Exponenciální křivka	$y = 751,13e^{-0,0001x}$	0,9113	4996,941
Polynom 2. stupně	$y = 5E-07x^2 - 0,0532x + 663,03$	0,9112	4811,94
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0,06x + 585,73$	0,9272	4077,992
Polynom 6. stupně	$y = -2E-20x^6 + 7E-16x^5 - 1E-11x^4 + 8E-08x^3 - 0,0003x^2 + 0,4066x + 477,52$	0,9564	3178,646



Obr. 59: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 2. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

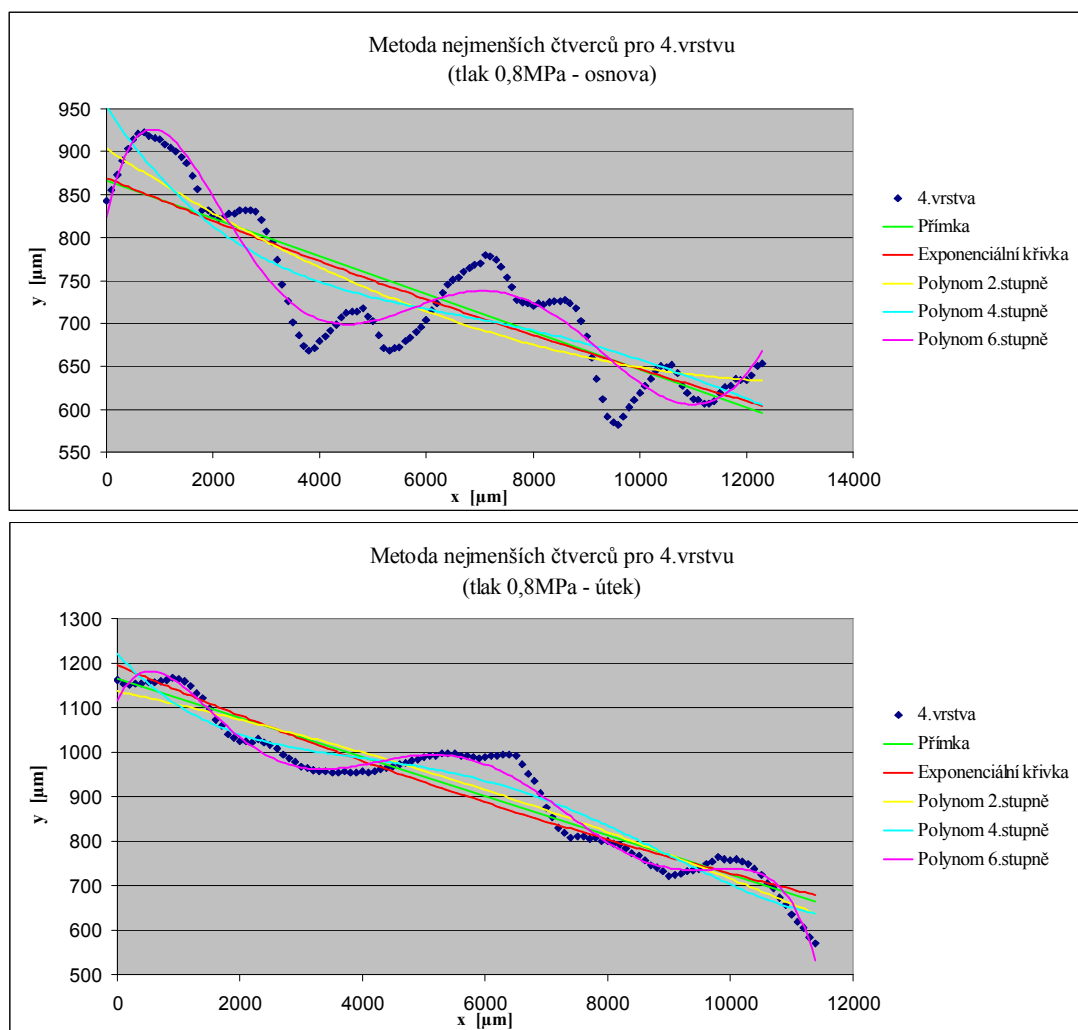
Tab. 35: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 2.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0181x + 453,35$	0,656	5183,185
Exponenciální křivka	$y = 472,79e^{-6E-05x}$	0,6505	5371,946
Polynom 2. stupně	$y = -1E-06x^2 - 0,0047x + 426,09$	0,6802	5016,785
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 3E-05x^2 + 0,073x + 391,97$	0,7823	4156,542
Polynom 6. stupně	$y = 1E-20x^6 - 5E-16x^5 + 6E-12x^4 - 3E-08x^3 + 3E-05x^2 + 0,0363x + 384,79$	0,8793	2988,973
Útek			
Přímka	$y = -0,0433x + 798,99$	0,9105	5087,435
Exponenciální křivka	$y = 884,59e^{-9E-05x}$	0,8321	6404,353
Polynom 2. stupně	$y = -2E-06x^2 - 0,0185x + 749,02$	0,9307	4390,905
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 4E-09x^3 - 3E-05x^2 + 0,0533x + 717,01$	0,9508	3875,035
Polynom 6. stupně	$y = 1E-20x^6 - 4E-16x^5 + 4E-12x^4 - 2E-08x^3 + 8E-06x^2 + 0,0451x + 703,7$	0,9684	2876,467





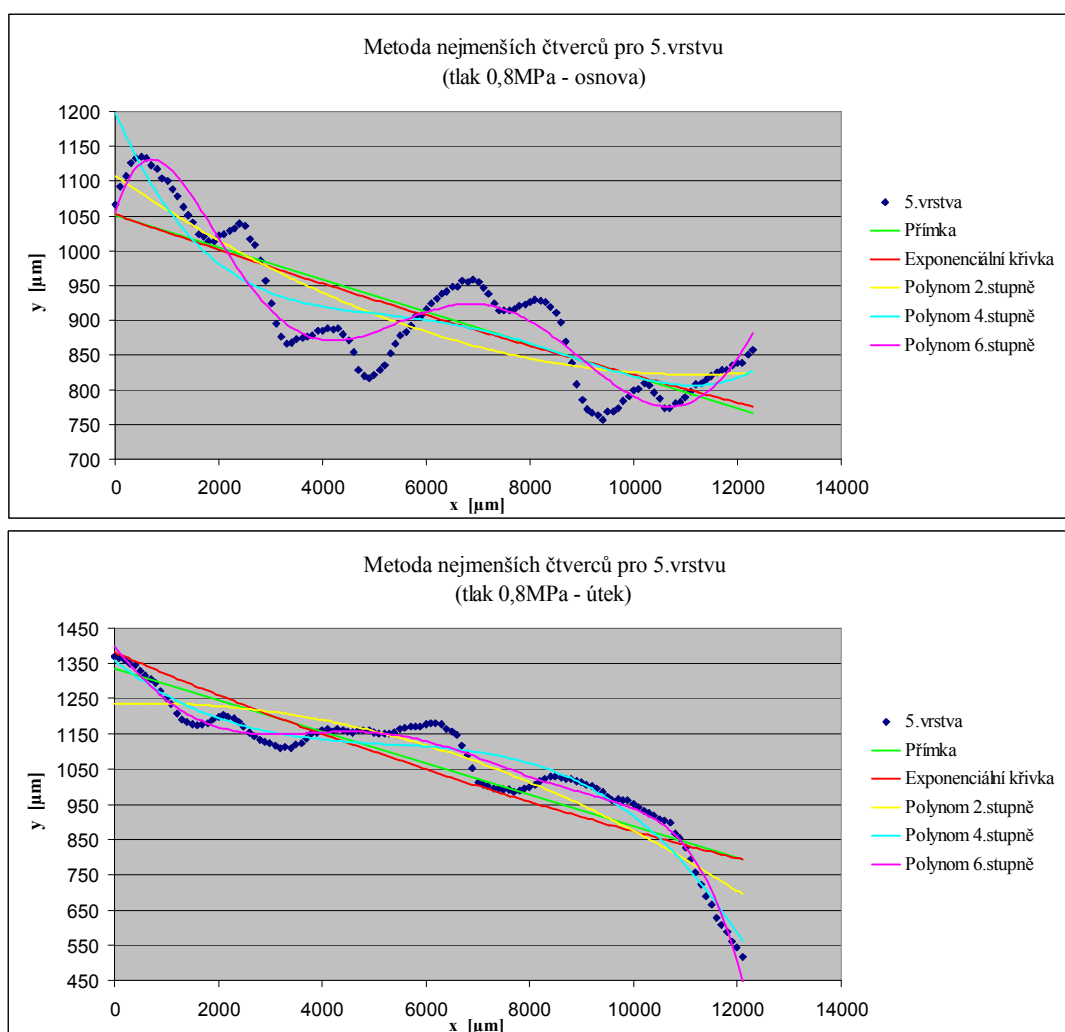
Obr.60 : Metoda nejmenších čtverců pro 3. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

Tab. 36: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 3.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0163x + 646,08$	0,5303	6048,24
Exponenciální křivka	$y = 644,54e^{-3E-05x}$	0,5235	5950,722
Polynom 2. stupně	$y = 3E-06x^2 - 0,0494x + 713,51$	0,6796	5438,6
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 6E-09x^3 + 5E-05x^2 - 0,1855x + 799,46$	0,7928	3994,870
Polynom 6. stupně	$y = -2E-20x^6 + 8E-16x^5 - 1E-11x^4 + 8E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,1944x + 683,63$	0,9146	1764,327
Útek			
Přímka	$y = -0,0526x + 1024,3$	0,8767	7701,256
Exponenciální křivka	$y = 1155,5e^{-9E-05x}$	0,7563	10374,85
Polynom 2. stupně	$y = -4E-06x^2 - 0,0027x + 919,58$	0,9301	5844,42
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 5E-09x^3 - 4E-05x^2 + 0,0662x + 901,79$	0,9612	4262,124
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 5E-16x^5 + 7E-12x^4 - 3E-08x^3 + 5E-05x^2 + 6E-05x + 901,52$	0,9807	2895,386



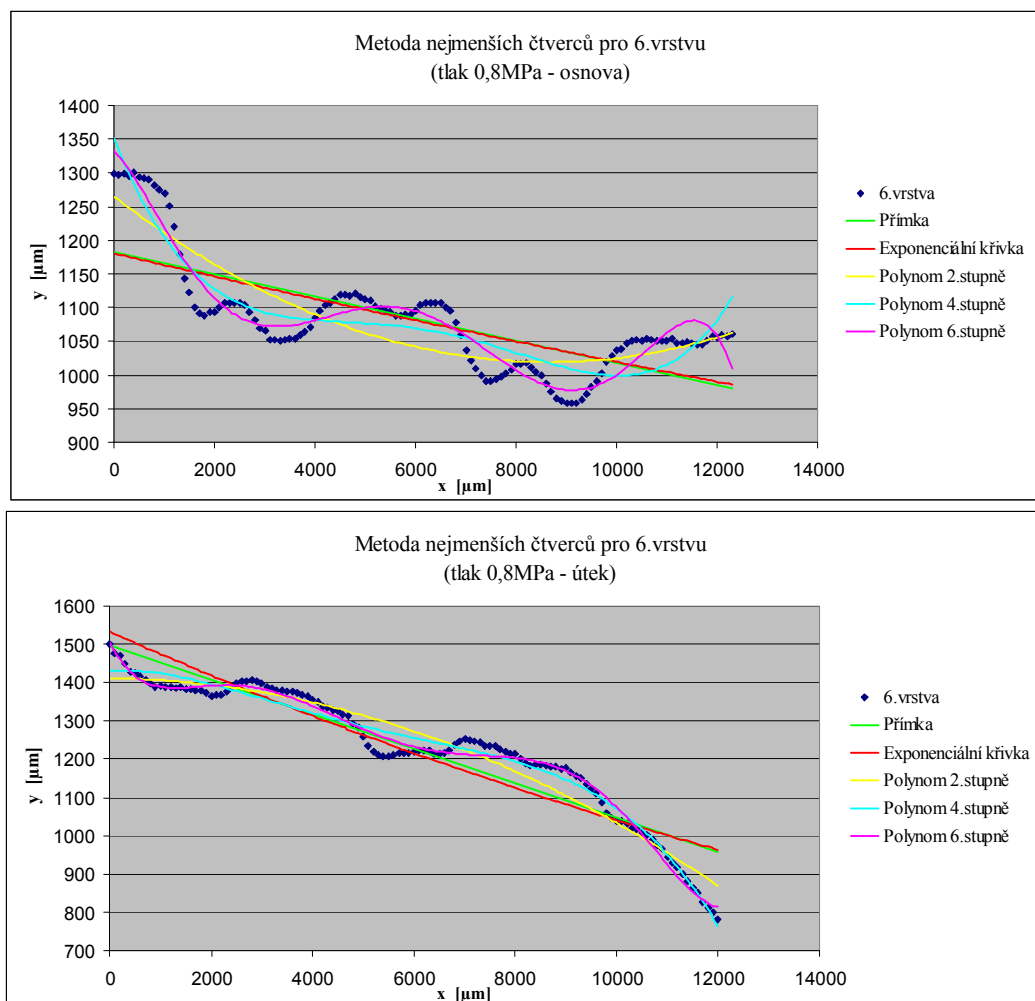
Obr. 61: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 4. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

Tab. 37: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 4.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,022x + 865,65$	0,7162	5172,47
Exponenciální křivka	$y = 869,44e^{-3E-05x}$	0,719	5122,578
Polynom 2. stupně	$y = 2E-06x^2 - 0,0409x + 904$	0,7519	4960,75
Polynom 4. stupně	$y = 3E-14x^4 - 1E-09x^3 + 2E-05x^2 - 0,0964x + 952,77$	0,7805	4145,879
Polynom 6. stupně	$y = -1E-20x^6 + 5E-16x^5 - 8E-12x^4 + 6E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,275x + 823,6$	0,9174	3234,125
Útek			
Přímka	$y = -0,0439x + 1164,6$	0,9036	4676,625
Exponenciální křivka	$y = 1195,6e^{-5E-05x}$	0,8869	5021,105
Polynom 2. stupně	$y = -1E-06x^2 - 0,0293x + 1137$	0,9104	4551,145
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 5E-09x^3 + 4E-05x^2 - 0,1518x + 1221,2$	0,9323	3570,323
Polynom 6. stupně	$y = -5E-20x^6 + 2E-15x^5 - 2E-11x^4 + 1E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,2691x + 1117,1$	0,9841	2257,551



Obr.62: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 5. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

Tab. 38: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 5.vrstva			
Osnova	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,023x + 1050,5$	0,656	6413,905
Exponenciální křivka	$y = 1052,1e^{-2E-05x}$	0,6554	6645,985
Polynom 2. stupně	$y = 2E-06x^2 - 0,0512x + 1107,8$	0,7224	5911,215
Polynom 4. stupně	$y = 1E-13x^4 - 4E-09x^3 + 4E-05x^2 - 0,1737x + 1198,5$	0,7793	5126,664
Polynom 6. stupně	$y = -1E-20x^6 + 6E-16x^5 - 1E-11x^4 + 7E-08x^3 - 0,0002x^2 + 0,2482x + 1054,8$	0,9094	3017,737
Útek			
Přímka	$y = -0,0446x + 1333,9$	0,791	7681,38
Exponenciální křivka	$y = 1381,3e^{-5E-05x}$	0,7082	10233,7
Polynom 2. stupně	$y = -4E-06x^2 + 0,0055x + 1233,8$	0,8587	6769,88
Polynom 4. stupně	$y = -2E-14x^4 - 1E-09x^3 + 2E-05x^2 - 0,1164x + 1357,6$	0,9427	4332,872
Polynom 6. stupně	$y = -1E-20x^6 + 4E-16x^5 - 4E-12x^4 + 1E-08x^3 + 2E-05x^2 - 0,1796x + 1397,9$	0,9699	3294,008



Obr. 63: Grafy – metoda nejmenších čtverců pro 6. vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek)

<b>Tab. 39: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 6.vrstva</b>			
<b>Osnova</b>	Rovnice funkce	Hodnota spolehlivosti	Suma odchylek
Přímka	$y = -0,0164x + 1182,8$	0,5131	5976,11
Exponenciální křivka	$y = 1180,5e^{-1E-05x}$	0,5163	6596,463
Polynom 2. stupně	$y = 3E-06x^2 - 0,0569x + 1265,1$	0,7237	5289,01
Polynom 4. stupně	$y = 2E-13x^4 - 6E-09x^3 + 5E-05x^2 - 0,1913x + 1351,7$	0,8241	3467,098
Polynom 6. stupně	$y = -2E-20x^6 + 7E-16x^5 - 8E-12x^4 + 4E-08x^3 - 8E-05x^2 - 0,0708x + 1332,4$	0,9187	3087,251
<b>Útek</b>			
Přímka	$y = -0,0451x + 1498,2$	0,8824	5710,02
Exponenciální křivka	$y = 1532,7e^{-4E-05x}$	0,8357	6881,557
Polynom 2. stupně	$y = -4E-06x^2 - 0,0007x + 1410,2$	0,9402	4523,16
Polynom 4. stupně	$y = -2E-13x^4 + 3E-09x^3 - 2E-05x^2 + 0,0079x + 1431,3$	0,9712	3659,906
Polynom 6. stupně	$y = 2E-20x^6 - 8E-16x^5 + 1E-11x^4 - 7E-08x^3 + 0,0002x^2 - 0,2607x + 1505,4$	0,9867	1967,438

Z uvedených grafů a tabulek vyplývá, že pro všechny střední průběhy vlákněných svazků vychází ve všech vrstvách u osnovy i útku a při tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa nejlépe aproximace polynomem 6.stupně.

### 3.9 Diskuze

Při sledování změn geometrických charakteristik vnitřní struktury mezi jednotlivými vrstvami v osnově i útku pro jednotlivé tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa, které jsou srovnávány s volnou tkaninou, byly zjištěny následující poznatky.

Při síle lisovacího tlaku 0,2MPa se tloušťka vlákněných svazků v jednotlivých vrstvách zmenšila o necelou polovinu oproti volné tkanině v osnově i útku. Největší zmenšení nastalo ve 3. vrstvě u útku a v 1.vrstvě u osnovy. K největšímu zvětšení došlo v 2. vrstvě u útku a ve 4. vrstvě u osnovy. U osnovy z měření vyplývá, že tloušťka vlákněných svazků přibývá až do 4. vrstvy a poté začne opět klesat. Tento jev může být důsledkem směru působení tlaku, a nebo také silou tlaku, která se nepřenesla do prostředních vrstev. U útku tomu je jinak: uprostřed vrstev je tloušťka nejmenší a k vnějším vrstvám tloušťka roste; to mohlo být způsobeno kladením vrstev fázově nepřesně, a nebo strukturou materiálu, která mohla být v tomto místě narušena. Při síle lisovacího tlaku 0,5MPa se tloušťka vlákněných svazků v jednotlivých vrstvách zmenšila o celou polovinu oproti volné tkanině v osnově i útku. Největší zmenšení nastalo v 5., 3. vrstvě u osnovy i útku a v 2. vrstvě u útku, což mohlo způsobit kladení vrstev fázově nepřesně, a nebo mohlo dojít k poškození tkaniny při výrobě prepregu (zmenšení tloušťky vlákněného svazku). Menší úbytek je znatelný u osnovy i útku v 1. a 4. vrstvě; u vrstev mohlo dojít k mikroskopickému skluzu, a tím k zvětšení tloušťky vlákněného útvaru. Při síle lisovacího tlaku 0,8MPa se tloušťka vlákněných svazků v jednotlivých vrstvách zmenšila o víc jak polovinu oproti volné tkanině v osnově i útku. Největší zmenšení je pozorováno v 5., 6. a 2. vrstvě u osnovy i útku, což mohlo být způsobeno směrem působení tlaku. Nejmenší zmenšení je ve 3. a 4. vrstvě u osnovy i útku, což mohlo být způsobeno kladením vrstev na sebe. Pokud srovnáme jednotlivé vrstvy ve zvolených lisovacích tlacích, lze říci, že při zvětšování lisovacího tlaku klesá tloušťka vlákněného svazku u osnovy i útku. Změna nastala u 3. vrstvy u osnovy i útku, kdy je tloušťka vlákněného útvaru při 0,8MPa větší než při 0,5MPa, což mohlo být způsobeno poškozením materiálu při tlaku 0,5MPa.

Sledujeme-li výšku příčného řezu vláknenného útvaru, při lisovacím tlaku 0,2MPa zjistíme, že jeho výška se zmenší o necelou polovinu ve všech vrstvách oproti volné tkanině u osnovy i útku. Výšky příčných řezů vláknenného útvaru jsou ve všech vrstvách téměř konstantní. To může být způsobeno dostavou tkaniny a materiálem. Při lisovacím tlaku 0,5MPa se výška příčného řezu vláknenného svazku zmenšila o polovinu oproti volné tkanině u osnovy a útku. V 5. a 6. vrstvě u útku nepatrně výška vzrostla, což mohlo být způsobeno silou lisování a dostavou. Při lisovacím tlaku 0,8MPa se výška příčného řezu vláknenného útvaru zmenšila o polovinu oproti volné tkanině v osnově i útku. V 1. a 2. vrstvě u osnovy výška vzrostla, což mohlo být způsobeno silou a směrem lisovacího tlaku, dostavou a materiálem. Srovnáme-li jednotlivé vrstvy mezi lisovacími tlaky, zjistíme, že s rostoucím tlakem se výška ve vrstvách snižuje. Až na výjimku v 1 a 2. vrstvě u lisovacího tlaku 0,8MPa, kde je výška příčného řezu vláknenného útvaru větší než při lisovacím tlaku 0,5MPa. Jak již bylo naznačeno, příčinou mohla být vysoká dostava materiálu a lisovací tlak.

Šířka příčného řezu vláknenného útvaru pro lisovací tlak 0,2MPa se zvětšila ve všech jednotlivých vrstvách oproti volné tkanině pro osnovu i útek. Narůst šířky řezu vláknenného útvaru je ve všech vrstvách téměř konstantní. Pro lisovací tlak 0,5MPa se šířka příčného řezu vláknenného útvaru zvětšila ve všech jednotlivých vrstvách oproti původní volné tkanině i oproti lisovacímu tlaku 0,2MPa. Při lisovacím tlaku 0,8MPa byl nárůst šířky řezu vláknenného svazku téměř shodný s lisovacím tlakem 0,5MPa, dokonce v 1. a 2. vrstvě byl nárůst nižší, což mohlo být zapříčiněno hustou dostavou. Z toho tedy vyplývá, že do určitého tlaku šířka řezu vláknenného útvaru roste.

Další zkoumanou problematikou byl výběr matematického modelu geometrie výztuže. Jako matematický model byla zvolena metoda nejmenších čtverců. Původní data byla proložena (aproximována) přímkou, exponenciální křivkou, polynomem 2. stupně, polynomem 4. stupně a polynomem 6. stupně. Při výpočtu sumy odchylek bylo zjištěno, že nejvhodnější matematická funkce pro popis středního průběhu vláknenných svazků je aproximace polynomem 6. stupně, protože suma odchylek dosahovala nejnižších hodnot, a to ve všech vrstvách a lisovacích tlacích 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnovu i útek. Jako nevhodná aproximace pro střední průběh vláknenných svazků se ukázala exponenciální křivka, která dosahovala ve většině případů nejvyšší hodnotu sumy odchylek.

Pro další manipulaci s tkaninovým kompozitem s keprovou výztuží by bylo vhodné rozebrat tento kompozit ještě ze strukturního hlediska (matrice, dutiny, trhliny,

póry). A prozkoumat, jestli nelze najít ještě vhodnější matematickou funkci, která by lépe popsala střední průběh vlákných svazků např. pomocí Furierových řad.

## 4. Závěr

V diplomové práci byla řešena problematika geometrické charakteristiky vnitřní struktury tkaninového kompozitu s keprovou výztuží sklo/polysiloxan pro lisovací tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnovu i útek. Dále bylo cílem vybrat vhodnou matematickou funkci popisující nejvhodněji střední průběh vlákných svazků.

Pro řešení geometrických charakteristik vnitřní struktury byly připraveny vzorky, které se zalévaly do pryskyřice. Zalité, zatvrdlé vzorky se následně zbrousily, aby byly dobře čitelné v obrazové analýze při následném snímání.

Měření geometrických charakteristik probíhalo v programu NIS ELEMENTS 2.30, kde byly naměřeny střední průběhy vlákných svazků, tloušťky vlákných svazků, výšky a šířky řezu vlákných útvarů pro jednotlivé vrstvy a lisovací tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnovu i útek.

Průměry naměřených geometrických charakteristik vnitřní struktury byly porovnány v jednotlivých vrstvách a tlacích s volnou tkaninou pro osnovu i útek a bylo zjištěno, že tloušťka vlákných svazků se zmenšila o polovinu oproti volné tkanině ve všech tlacích i vrstvách pro osnovu a útek, s přibývajícím tlakem se tloušťka vlákného svazku zmenšovala. Pro výšku řezu vlákného útvaru bylo zjištěno, že se výška zmenšila o polovinu oproti volné tkanině ve všech tlacích i vrstvách pro osnovu i útek, a s přibývajícím lisovacím tlakem se výška řezu vlákného útvaru zmenšovala. Pro šířku řezu vlákného bylo zjištěno, že ve všech tlacích a jednotlivých vrstvách narůstala oproti volné tkanině, a s přibývajícím tlakem šířka řezu vlákného útvaru rostla až do tlaku 0,5MPa a pak se již nezvyšovala.

Pro hledaný matematický model byla zvolena metoda nejmenších čtverců. Původní data byla tedy proložena (aproximována) přímkou, exponenciální křivkou, polynomem 2. stupně, polynomem 4. stupně a polynomem 6. stupně. Jako nejvhodnější matematická funkce pro popis středního průběhu vlákných svazků byla vybrána aproximace polynomem 6. stupně.

Tato práce přináší poznatky o geometrii vnitřní struktury tkaninového kompozitu s keprovou výztuží sklo/polysiloxan. Podle zadání diplomové práce byly splněny veškeré cíle práce.

## Literatura

- [1] Bareš R.: Kompozitní materiály, SNTL, Praha 1988
- [2] Chow, T. W. – Ko, F. K.: Textile Structural Composites, Elsevier ,1989
- [3] Bogdanovich, A. E. – Pastore, C. M.: Mechanics of Textile and Laminated Composites, Chapman & Hall, London 1996.
- [4] Salačová J.: Možnosti počítačového vidění reálné struktury tkaninových kompozitů, TU Liberec, 2008
- [5] Kompozitní materiály, dostupné z [http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf), citováno dne 7.2.2012
- [6] Kompozity, dostupné z <http://www.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/15%20KAPITOLA%2013.pdf>, citováno dne 7.2.2012
- [7] Halasová M.: Optimalizace rozhraní vlákno matrice u kompozitu s keramickou matricí, Vysoké učení technické v Brně, 2011
- [8] Historie a použití kompozitních materiálů u lodí a letadel, dostupné z <http://www.volny.cz/zkorenek/historie.pdf>, citováno dne 7.2.2012
- [9] Salačová J.: Možnosti modelování mechanických vlastností kompozitů s textilní výztuží, TU Liberec, 2001
- [10] Mytysková I.: Mechanické a tepelné vlastnosti tkaninových kompozitů sklo/polysiloxan, TU Liberec, 2008
- [11] Salačová J.: Kooperace softwarových systémů LUCIA G, Matlab, Femlab, pro studium struktury tkaninových kompozitů, TU Liberec, [ - ]
- [12] Technologie výroby kompozitů, dostupné z <http://www.volny.cz/zkorenek/technologie.pdf>, citováno dne 28.2.2012
- [13] Technologie výroby kompozitů, dostupné z <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>, citováno dne 30.12.2005
- [14] Prepreg, dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prepreg>, citováno dne 28.2.2012
- [15] Sabate G.: Karbon – Karbon composites, Chapman a Hall, London,1993
- [16] Balík K.: Technologie přípravy výrobků u vláknového kompozitního materiálu C-C, ÚSMH AV, Praha, 1993



- [17] Keprová vazba, dostupné z <http://www.skolatextilu.cz/tkaniny/index.php?page=4>, citováno dne 29.2.2012
- [18] Vlákna pro kompozity, dostupné z <http://www.volny.cz/zkorenek/vlakna.pdf>, citováno dne 29.2.2012
- [19] Skleněná textilní vlákna, dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C4%9Bn%C3%A1\\_textiln%C3%AD\\_vl%C3%A1kna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sklen%C4%9Bn%C3%A1_textiln%C3%AD_vl%C3%A1kna), citováno dne 29.2.2012
- [20] Typy vláken, dostupné z [http://www.ellri.cz/vyroba\\_na\\_zakazku/typy\\_vlaken.htm](http://www.ellri.cz/vyroba_na_zakazku/typy_vlaken.htm), citováno dne 29.2.2012
- [21] Kompozity, dostupné z <http://delta.fme.vutbr.cz/mikromechanika/kompozityA4.pdf>, citováno dne 29.2.2012
- [22] Grégr J., Skleněná vlákna - historie a současnost, dostupné z <http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=34&lang=1>, citováno dne 29.2.2012
- [23] Studium tepelných vlastností kompozitních materiálů, dostupné z [http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/13809/jir%C3%A1sek\\_2010\\_bp.pdf?sequence=1](http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/13809/jir%C3%A1sek_2010_bp.pdf?sequence=1) citováno dne 27.4.2012
- [24] Dentakryl technick, dostupné z <http://web.elchemco.cz/dentacryl.php>, citováno 29.2.2012
- [25] Matrice vlákenných kompozitů, dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice\\_vl%C3%A1knov%C3%BDch\\_kompozit%C5%A1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice_vl%C3%A1knov%C3%BDch_kompozit%C5%A1), citováno dne 15.3.2012
- [26] Kompozity, dostupné z <http://www.gdpkoral.cz/UserFiles/File/PDF-design-manual/kompozity.pdf>, citováno dne 15.3.2012
- [27] Matrice, dostupné z <http://www.volny.cz/zkorenek/matrice.pdf>, citováno dne 26.4.2012
- [28] Veselý K. a kolektiv: Polymerní kompozity, UMCH ČSAV, Praha 1990
- [29] Vopička S.: Popis energie nití v textilních kompozitech s tkanou výztuží, TU Liberec, 1998
- [30] Stiffness and strength behaviour of woven fabric composites, dostupné z <http://www.springerlink.com/content/k7002064m2452207/> citováno dne 25.4.2012
- [31] Salačová J.: Influence of press-molding and weave-pattern on tow geometry in woven composites, TU Liberec, citováno dne 28.4. 2012

- [32] Hivet G. a Bosse P.: Consistent mesoscopic mechanical behavior model for woven composite reinforcement in biaxial tension, Francie, 2007
- [33] Čapková L.: Hodnocení prodyšnosti bavlnářských tkanin s plátňovou vazbou, TU Liberec, 2010
- [34] Drašarová, J.: Deformace příčného řezu délkové textilie ve vazném bodě tkaniny, STRUTEX, TU v Liberci 2000.
- [35] Kutlák J. : Počítačová animace struktury tkaninového kompozitu c/c, TU Liberec, 2007
- [36] Základní statistické charakteristiky, dostupné z [http://www.vscht.cz/ktk/www\\_324/lab/texty/statistika/as.pdf](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/texty/statistika/as.pdf), citováno dne 3.5.2012

## Seznam obrázků, tabulek, rovnic

### Obrázky v teoretické části

Obr. 1: Synergické chování složek kompozitu [5].....	11
Obr. 2: Hierarchie strukturních úrovní tkaninového kompozitu [8].....	11
Obr. 3: Piercův model provázání nití v tkanině [34].....	13
Obr. 4: Hyperbolický model provázání v nití ve tkanině [34].....	14
Obr. 5: Provázání nití v tkanině pomocí Furierových řad [34].....	15
Obr. 6: Deformovaný průřez nitě (kružnice, elipsa, ovál, čočka) [34].....	15
Obr. 7: Keprová vazba výztuže [10].....	16
Obr. 8: Druhy kladení vrstev prepregů [35].....	20
Obr. 9: Výroba tkaninového prepregu pomocí impregnační lázně [13].....	21
Obr. 10: Strukturní prvky tkaninového kompozitu[10].....	22

### Obrázky v experimentální části

Obr. 11: Příprava vzorků pro další manipulaci (lisování za tlaku 0,5MPa).....	23
Obr. 12: Výrobek DENTACRYL TECHNICKÝ + vzorky.....	23
Obr. 13: Různé pohledy upínacího zařízení .....	24
Obr. 14: Přístroj pro broušení a leštění HMT kompak 1031 s brousícím nástavcem APX 010.....	25
Obr. 15: Snímaný vzorek (lisování za tlaku 0,2MPa-osnova).....	25
Obr. 16 - 18: Graf – střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,2MPa, 0,5MPa 0,8MPa - osnova).....	27 - 28
Obr. 19 - 24: Graf- tloušťka vláknenných svazků v osnově i útku(rozdíl mezi tlaky v 1.vrstvě – 6.vrstvě).....	29 - 34
Obr. 25 - 30: Graf – výška příčného průřezu vláknenného útvaru(rozdíl mezi tlaky v 1.vrstvě – 6.vrstvě).....	35 - 39
Obr. 31 - 36: Graf – šířka příčného vláknenného útvaru (rozdíl mezi tlaky v 1.vrstvě – 6.vrstvě).....	40 - 45
Obr. 37 - 39: Graf - tloušťka vláknenných svazků (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa).....	46 - 47
Obr. 40 - 42: Graf - výška příčného řezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa).....	47 – 48
Obr. 43 - 45: Graf - šířka příčného řezu vláknenného útvaru (rozdíl mezi vrstvami při tlaku 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa).....	49 – 50

Obr. 46 - 51: Grafy - metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu až 6.vrstvu (tlak 0,2MPa – osnova, útek).....	51 - 56
Obr. 52 - 57: Grafy - metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu až 6.vrstvu (tlak 0,5MPa – osnova, útek).....	57 - 62
Obr. 58 - 63: Grafy - metoda nejmenších čtverců pro 1. vrstvu až 6.vrstvu (tlak 0,8MPa – osnova, útek).....	63 - 68

#### **Tabulky :**

Tab. 1: Nejpoužívanější skleněná vlákna [19].....	17
Tab. 2: Mechanicko-fyzikální vlastnosti skleněných vláken [18].....	17
Tab. 3: Hodnoty pro broušení vzorků .....	25
Tab. 4 - 9: Tloušťka vlákenných svazků 1.vrstva – 6.vrstva.....	28 - 33
Tab. 10 - 15: Výška příčného průřezu vlákenného útvaru 1.vrstva – 6.vrstva.....	34 - 39
Tab. 16 - 21: Šířka příčného průřezu vlákenného útvaru 1.vrstva – 6.vrstva.....	40 - 45
Tab. 22 - 27: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,2MPa osnova, útek – 1.vrstva až 6.vrstva.....	51 - 56
Tab. 28 - 33: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,5MPa osnova, útek – 1.vrstva až 6.vrstva.....	57 - 62
Tab. 34 - 39: Metoda nejmenších čtverců pro tlak 0,8MPa osnova, útek – 1.vrstva až 6.vrstva.....	63 - 68

#### **Rovnice :**

Následující rovnice jsou použity z literatury [36]

rovnice 1: Průměr $x$ [ $\mu\text{m}$ ].....	26
rovnice 2: Směrodatná odchylka $s$ [ $\mu\text{m}$ ].....	26
rovnice 3: Variační koeficient $V_x$ [%].....	26
rovnice 4: 95% interval spolehlivosti [ $\mu\text{m}$ ].....	26



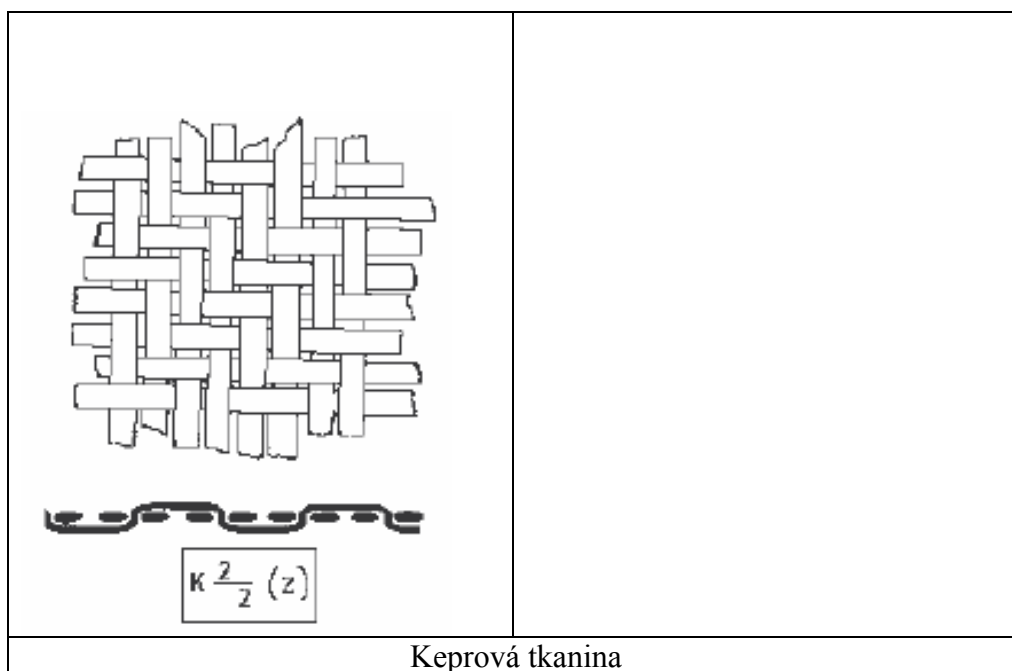
# **Příloha**

MODEL GEOMETRIE VNITŘNÍ STRUKTURY  
TKANINOVÝCH KOMPOZITŮ SKLO/  
POLYSILOXAN S KEPROVOU VÝZTUŽÍ

Liberec 2012

Jiřina Říhová

- Keprová tkanina ze skleněných vláken, sloužící jako výztuž pro výrobu tkaninového kompozitu



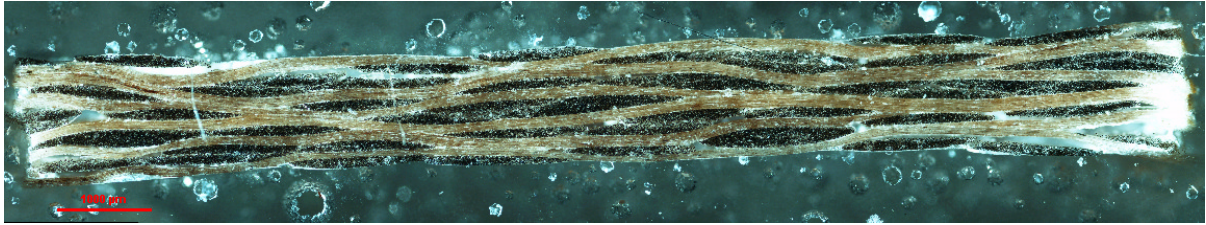
- Vzorky se brousí v několika cyklech o různých jemnostech brousícího papíru, aby byl brousící povrch dobře čitelný v obrazové analýze při následném snímání.

320	600	1200	2000
Hrubost brousících papírů			



- Zleštěné nábrusy se dále snímaly pod mikroskopem značky Nikon Elipse LV100 a pomocí posuvného stolku se episkopicky snímaly kamerou DS-5 do složeného obrazu.

### 12 snímaných vzorků



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,2MPa – osnova)



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,2MPa – osnova)



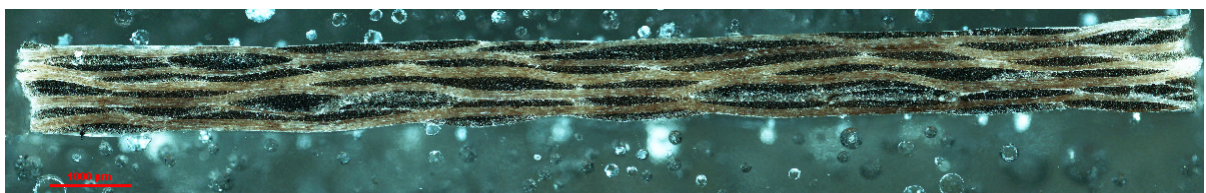
Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,5MPa – osnova)



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,5MPa – osnova)

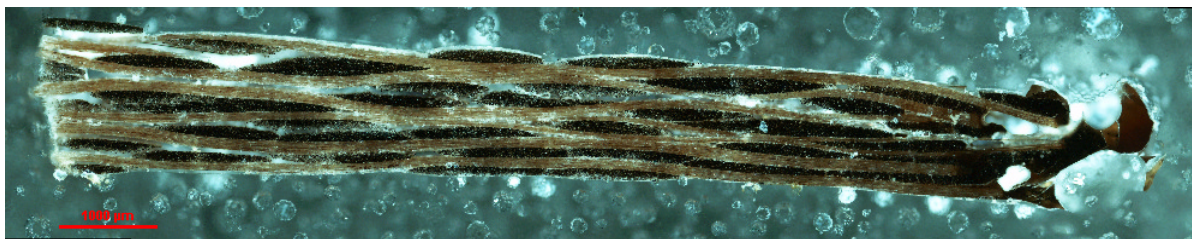


Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,8MPa – osnova)



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,8MPa – osnova)





Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,2MPa – útek)



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,2MPa – útek)



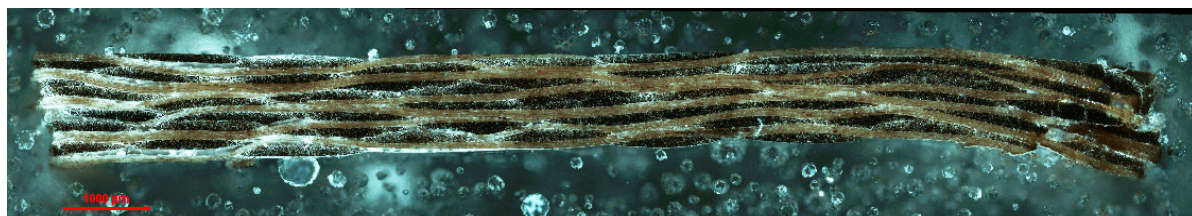
Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,5MPa – útek)



Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,5MPa – útek)

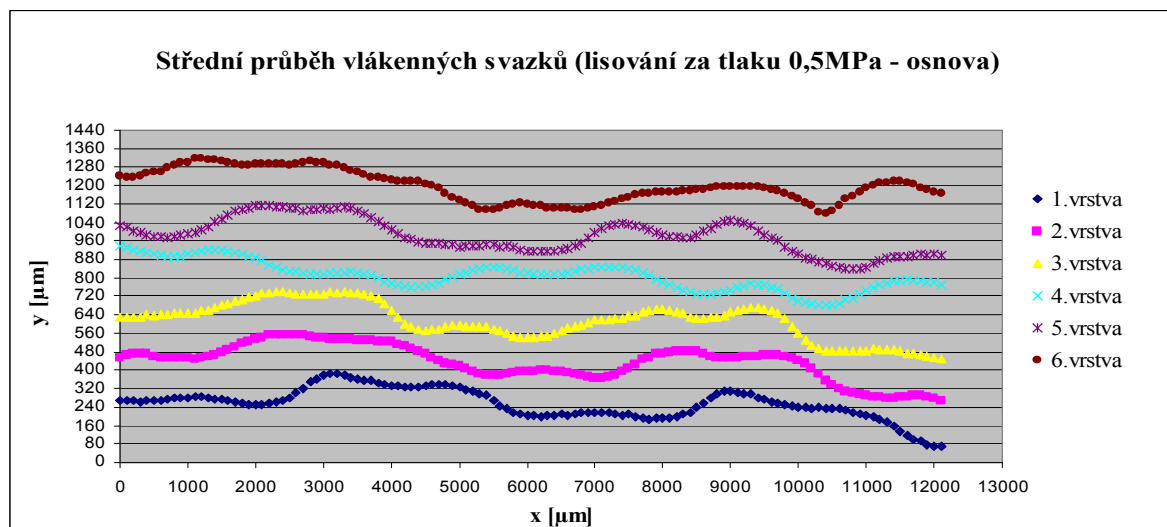
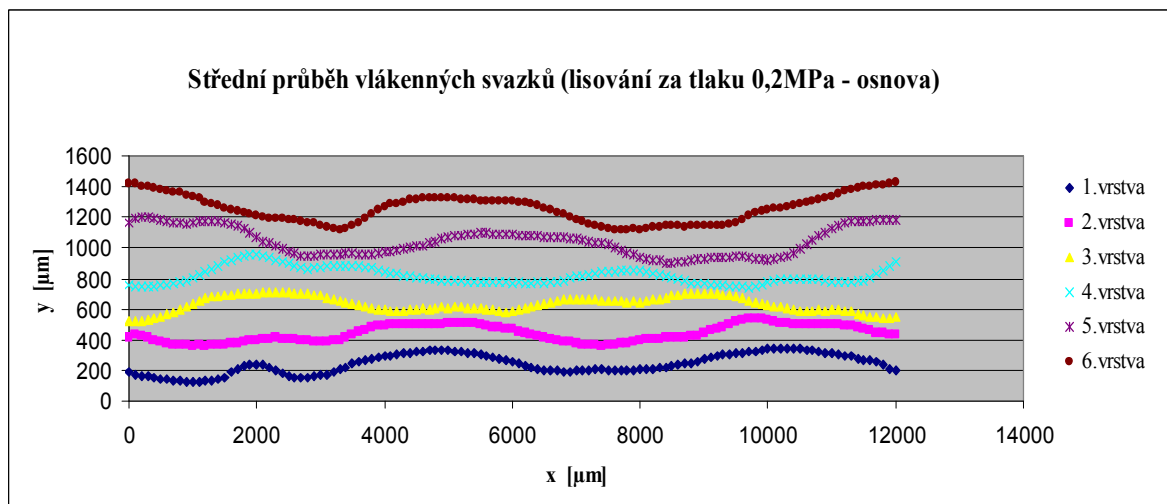
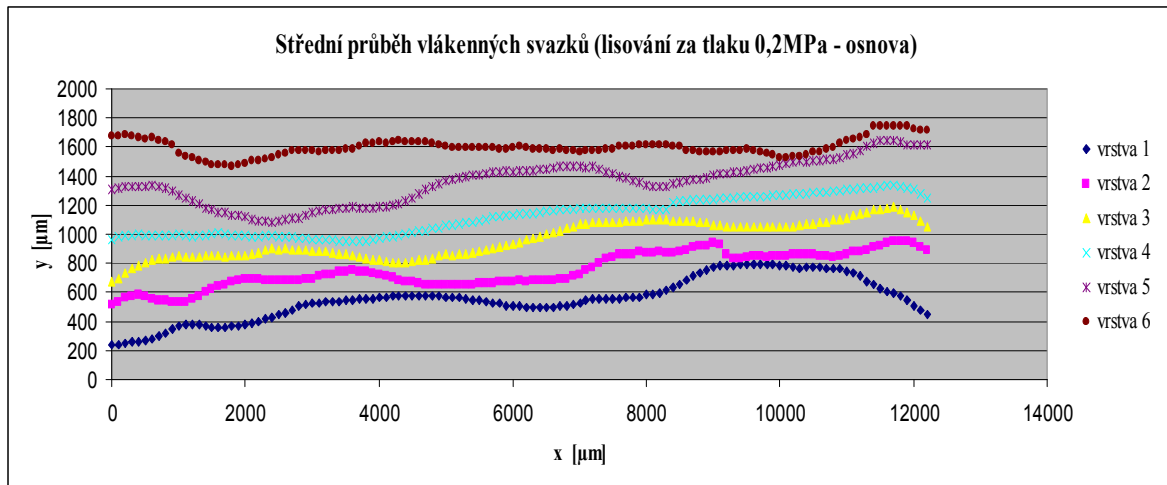


Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,8MPa – útek)



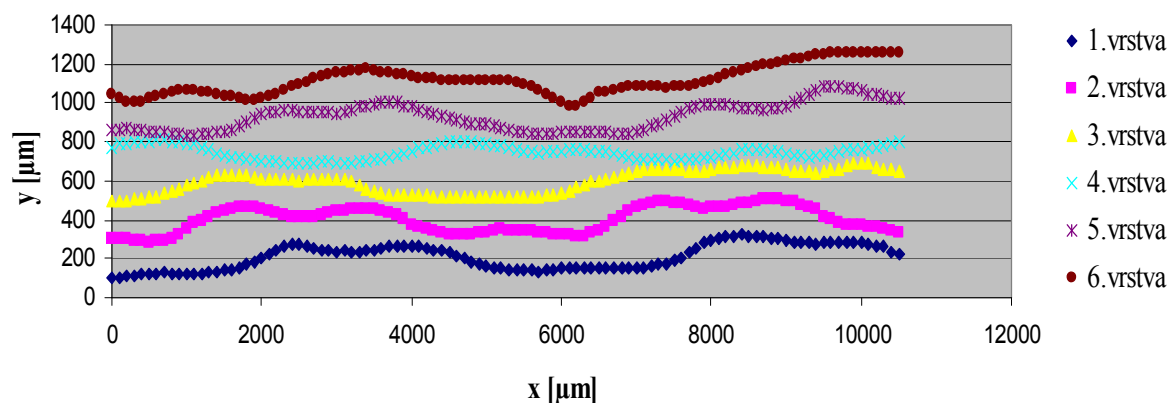
Tkaninový kompozit s keprovou výztuží (lisování při tlaku 0,8MPa – útek)

- Střední průběh vláknenných svazků v 6. vrstvách pro všechny sledované tlaky 0,2MPa, 0,5MPa a 0,8MPa pro osnova a útek.

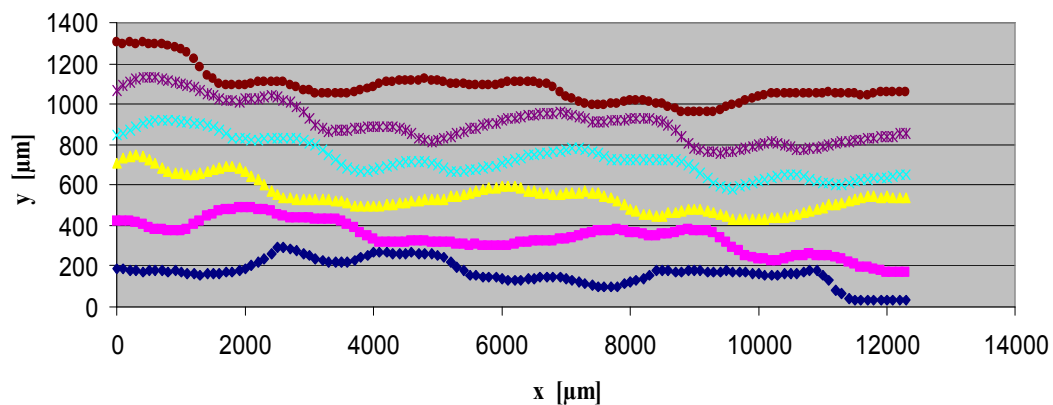




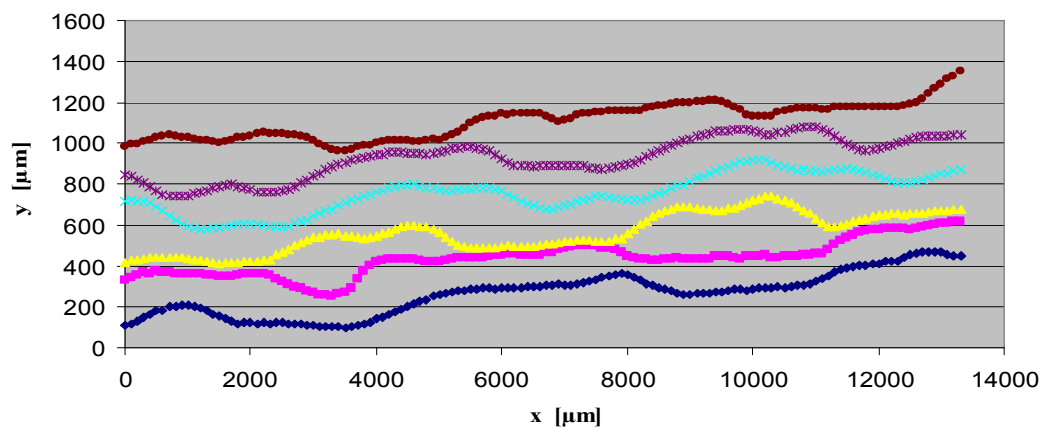
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,5MPa - osnova)**



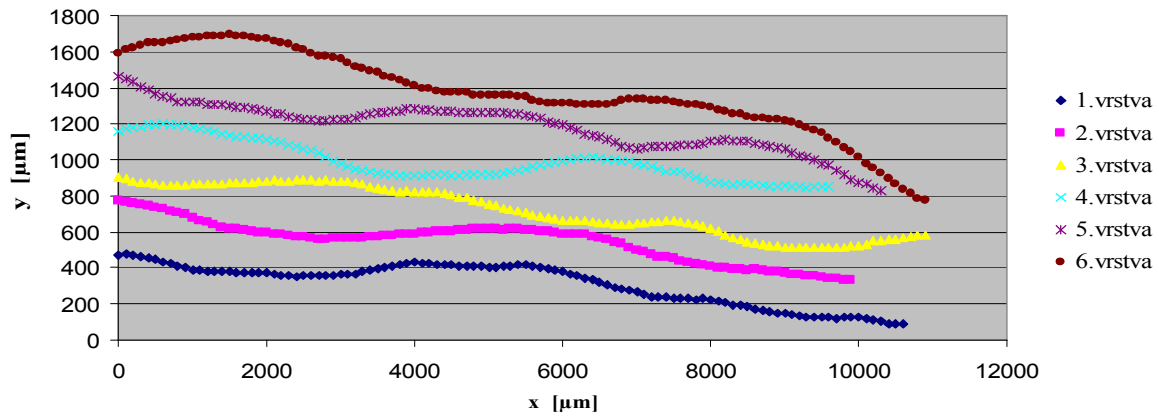
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,8MPa - osnova)**



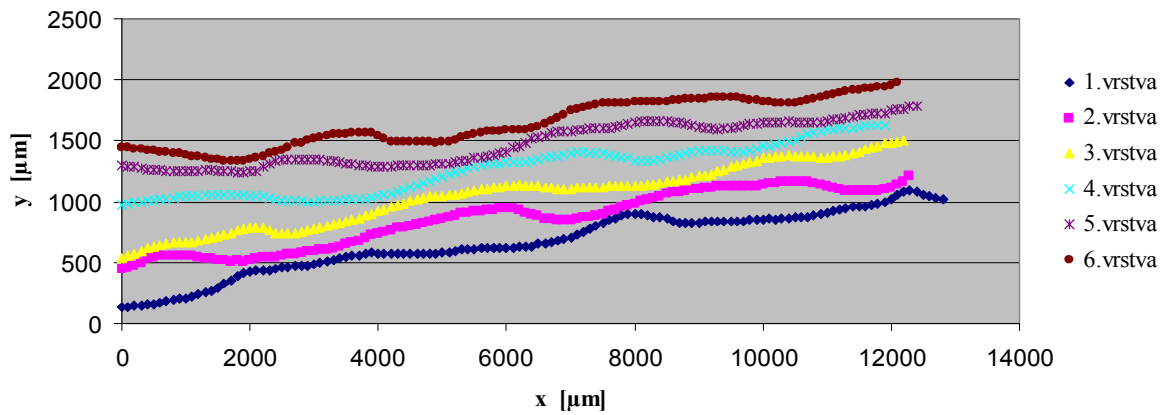
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,8MPa - osnova)**



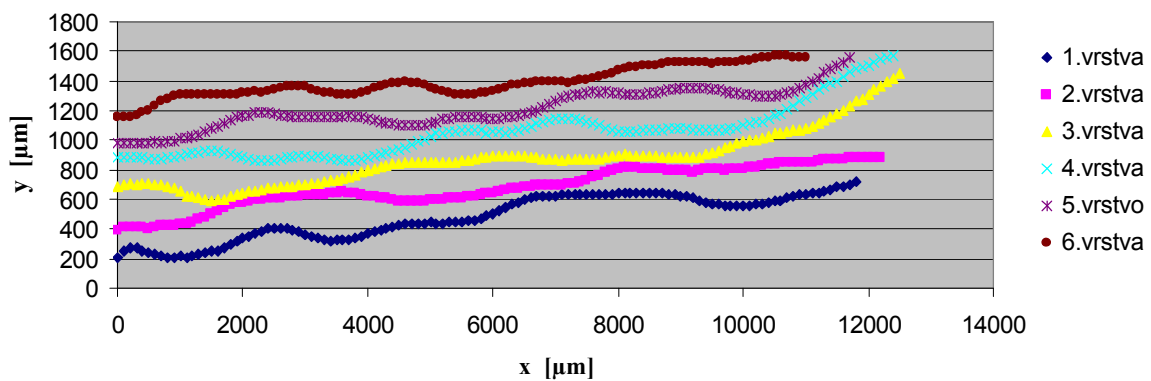
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,2MPa - útek)**



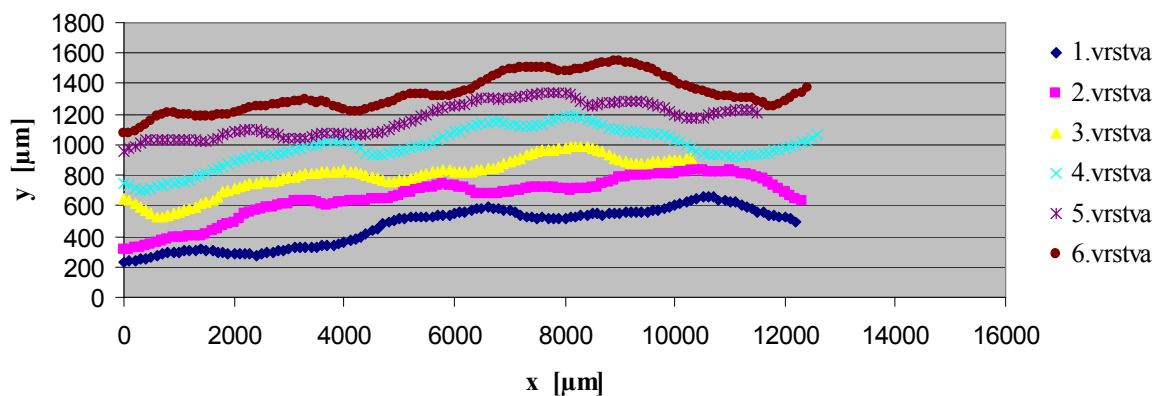
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,2MPa - útek)**



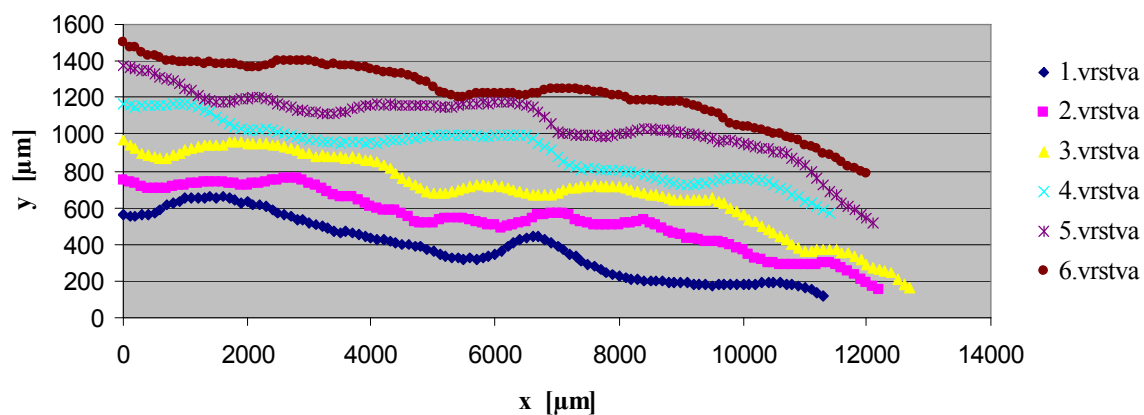
**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,5MPa - útek)**



**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,5MPa - útek )**



**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,8MPa - útek )**



**Střední průběh vláknenných svazků (lisování za tlaku 0,8MPa - útek)**

